

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра теоретичної електротехніки

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М. Я. Островерхов

« ____ » _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка**

на тему: «Моделювання схем множення напруги»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ЕВ-71мп

Овдієнко Олександр Юрійович _____

Керівник:

Доцент кафедри теоретичної електротехніки

к.т.н., доцент

Троценко Є.О. _____

Консультант з маркетингу:

Ст. викладач кафедри промислового маркетингу, к.е.н.,

Царьова Т. О. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра теоретичної електротехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» («Техніка та електрофізика високих напруг»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ТОВ «ІНТЕЛТЕХ»

_____ О. А. Філонова

«__» _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. Я. Островерхов

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Овдієнку Олександрю Юрійовичу

1. Тема дисертації «Моделювання схем множення напруги», науковий керівник дисертації Троценко Євгеній Олександрович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2018 р. №4107-с

2. Термін подання студентом дисертації грудень 2018 року.

3. Об'єкт дослідження: схеми множення та випрямлення напруги.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити: ознайомлення з усією наявною інформацією по тематиці дисертації.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

Осцилограми напруги в схемах множення та випрямлення напруги.

7. Орієнтовний перелік публікацій

Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36–41.

Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Effect of voltage harmonics on pulse repetition rate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 2, No. 1 (40). P. 37–44.

Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Experimental study and modeling of partial discharge detection system // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 4, No. 1 (42). P. 17–22.

8. Консультанти розділів дисертації

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------------------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Маркетинг високовольтного обладнання | Царьова Т. О., ст. викладач кафедри промислового маркетингу | | |

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|---|--|----------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

О.Ю. Овдієнко

Науковий керівник дисертації

Є.О. Троценко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка виконана на 116 сторінках формату А4, яка включає в себе 57 рисунків, 22 таблиці, 10 джерел використаної літератури.

В дисертації було змодельовано схеми випрямлення та множення напруги в програмі схемо технічного моделювання Micro-Cap 12 Evaluation. Також було досліджено вплив пульсацій напруги на характеристики часткових розрядів.

Актуальність теми. На даний момент європейські країни розглядають можливість створення електричних мереж на постійному струмі. З часом ця тенденція дістанеться і до нашої країни через наявність незворотніх всесвітніх глобалізаційних процесів та єдиної стандартизації. Тому більш досконале вивчення вже існуючих схем помноження напруги та випрямлення та їх вдосконалення задля задоволення поточних потреб людства вкрай важливо.

Метою магістерської дисертації моделювання схем випрямлення та множення напруги в програмі схемо технічного моделювання Micro-Cap 12 Evaluation, та дослідження впливу часткових розрядів на вищевказані схеми.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- розглянути теоретичні відомості про принцип дії схем випрямлення та множення напруги, їх типи та основні відмінності;
- змодельовати вищевказані схеми середовищі Micro-Cap 12 Evaluation;
- отримати графіки зміни напруги з часом для потрібних нам точок;
- провести порівняння схем і зробити висновки про актуальність схем для сучасного використання за отриманими результатами.
- в розділі стартап проекту буде проведено роботу з модернізації найбільш ефективної за результатами роботи схеми множення напруги.

Об'єкт дослідження: схеми множення та випрямлення напруги.

Предмет дослідження: вплив пульсацій напруги на характеристики часткових розрядів.

Методи дослідження. В основу роботи лягли попередні дослідження схем помноження та випрямлення напруги на кафедрі ТЕВН . Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення: Micro-Cap 12 Evaluation.

Наукова новизна результатів полягає в більш глибокому дослідженні фізичних процесів в схемах помноження та випрямлення напруги, що може бути використано в подальшому дослідженні даної галузі та розробці нових схем. Також буде проведено модернізацію однієї з найперспективніших на даний час схеми в розділі стартап проекту.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of an explanatory note and graphic part. The explanatory note is executed on 116 pages of the format A4, which includes 57 drawings, 22 tables, 10 sources of the used literature. In the dissertation, the schemes of straightening and voltage multiplication in the program were simulated by Micro-Cap 12 Evaluation technical simulation scheme. The influence of voltage pulsations on the characteristics of partial discharges was also investigated.

Actuality of theme. At the moment, European countries are considering the possibility of establishing dc power networks. In the course of time, this trend will reach our country because of the irreversible global globalization processes and unified standardization. Therefore, a more thorough study of the existing schemes of voltage and strain multiplication and their improvement to meet the current needs of mankind is extremely important.

The purpose of the master's thesis is to simulate rectifier and multiplication schemes in the program, the Micro-Cap 12 Evaluation model, and the study of the effects of partial discharges on the above schemes. To achieve this goal, the following tasks must be solved:

- to consider theoretical information about the principle of the action of straightening and voltage multiplication schemes, their types and main differences;
- simulate the above schemes Micro-Cap 12 Evaluation;
- get graphs of voltage changes over time for the points we need;
- to compare the schemes and draw conclusions about the relevance of the schemes for the current use of the results.
- in the section of the startup of the project, work will be carried out on the modernization of the most effective on the results of the work of the scheme of voltage multiplication.

Object of research: schemes of multiplication and straightening of voltage.

Subject of research: the effect of voltage pulsations on the characteristics of partial discharges.

Research methods. The basis of the work was the preliminary studies of the schemes of multiplication and straightening of voltage at the department TEVN. Processing results The research was carried out using modern software applications: Micro-Cap 12 Evaluation.

The scientific novelty of the results is a deeper study of the physical processes in the schemes of multiplication and straightening of voltage, which can be used in the further study of this industry and the development of new schemes. There will also be a modernization of one of the most up-to-date schemes in the project startup section.

ЗМІСТ

ВСТУП

| | |
|---|-----|
| 1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СХЕМИ МНОЖЕННЯ НАПРУГИ..... | 11 |
| 1.1. Помножувачі напруги..... | 11 |
| 1.2. Відомості про використане програмне забезпечення..... | 15 |
| 1.3. Висновки до розділу 1..... | 18 |
| 2. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ ТА МНОЖЕННЯ НАПРУГИ..... | 19 |
| 2.1. Моделювання схем однопівперіодного випрямлення..... | 19 |
| 2.2. Моделювання схем двопівперіодного випрямлення..... | 23 |
| 2.3. Моделювання схем подвоєння напруги..... | 28 |
| 2.4. Моделювання схеми потроєння напруги..... | 33 |
| 2.5. Моделювання двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги..... | 35 |
| 2.6. Моделювання схем каскадних з'єднань випрямних пристроїв..... | 38 |
| 2.7. Висновки по розділу 2..... | 59 |
| 3. МОДЕЛЮВАННІ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПУЛЬСАЦІЙ НАПРУГИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ | |
| 3.1. Відомості про часткові розряди..... | 60 |
| 3.2. Досягнення кафедри ТЕВН КПІ ім. Ігоря Сікорського у моделюванні часткових розрядів на змінному струмі..... | 63 |
| 3.3. Моделювання часткових розрядів в схемі однопівперіодного випрямлення..... | 71 |
| 3.4. Моделювання часткових розрядів в схемі двопівперіодного випрямлення..... | 73 |
| 3.5. Моделювання часткових розрядів в схемі подвоєння напруги..... | 78 |
| 3.6. Моделювання часткових розрядів в схемі потроєння напруги..... | 82 |
| 3.7. Моделювання часткових розрядів в двох послідовно з'єднаних схемах потроєння напруги..... | 84 |
| 3.8. Моделювання часткових розрядів в каскадних схемах випрямних пристроїв..... | 86 |
| 3.9. Висновки по розділу 3..... | 88 |
| 4. СТАРТАП: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ ТЕМИ МАГІСТЕРЬСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ ТА МНОЖЕННЯ НАПРУГИ» МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ..... | 89 |
| Висновки по роботі..... | 114 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 116 |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

ПК – персональний комп'ютер

ПЗ – програмне забезпечення

ЧР – частковий розряд

ВН – висока напруга

НН – низька напруга

ВСТУП

Мультиплікатори напруги – це перетворювачі живлення зі змінного на постійний струм, що складаються з діодів і конденсаторів, які виробляють високу напругу постійного струму від меншого джерела напруги змінного струму. Мультиплікатори зазвичай складаються з декількох частин. Кожна частина складається з одного діода і одного конденсатора.

Нам відомо як працює трансформатор щоб збільшити або зменшити напругу. Вторинний трансформатор може забезпечити одну або декілька вихідних напруг змінного струму, які можуть бути більшими або меншими, ніж вхідна напруга. Коли напруги збільшуються, струм зменшується; коли напруга знижується, струм відповідно збільшується.

Інший спосіб збільшення напруги називається множенням напруги. Множники напруги використовуються, перш за все, для створення високих напруг там, де потрібен низький струм. Найпоширенішим застосуванням мультиплікаторів напруги є анод катодно-променевої труби (CRT), які використовуються в виробництві радарів, осцилографів або на телебаченні. Вихід постійного струму множника напруги коливається від 1000 вольт до 30000 вольт. Фактична напруга залежить від розміру ЕПТ та його обладнання.

Мультиплікатор може також використовуватися як первинне джерело живлення, коли 177 В-вхід випрямляється до пульсуючого постійного струму. Ця вихідна напруга постійного струму може бути збільшена (за рахунок використання множника напруги) до 1000 вольт постійного струму. Ця напруга, як правило, використовується як напруга пластини або екрана для електронних трубок.

При посиленні напруги вихідний струм зменшується. Це також стосується множників напруги. Хоча виміряна вихідна напруга множника напруги може бути в декілька разів більшою, ніж вхідна напруга, після підключення навантаження значення вихідної напруги зменшується. Також будь-які невеликі коливання імпедансу навантаження викликають великі коливання вихідної напруги множника. З цієї причини множники напруги використовуються тільки в спеціальних пристроях, де навантаження є постійним і має високий імпеданс або де стійкість вхідної напруги не є критичною.

Наразі мультиплікатори напруги поділяють на декілька принципових типів, котрі в принципі схожі за своєю будовою але відрізняються певними властивостями і відповідно використовуються в різних пристроях та системах. Таким чином існують подвоювачі напруги, потроювачі напруги та більш складні каскадні схеми множення напруги. Класифікація залежить від співвідношення вихідної напруги до вхідної напруги. Наприклад, множник напруги, який двічі збільшує пікову вхідну напругу, називається подвоювачем напруги. Мультиплікатор підвищує напругу за допомогою джерел напруги послідовності. Це можна порівняти з підключенням сухих елементів (батарей) послідовно. Вхід може бути безпосередньо від джерела живлення або напруги лінії. Це, звичайно, не виділяє обладнання з лінії і створює потенційно небезпечний стан. Більшість військових установок використовують трансформатори для мінімізації цієї небезпеки.

Практичне застосування дані пристрої знайшли в телевізійній сфері, множники напруги тепер використовуються в лазерних технологіях.

1. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СХЕМИ МНОЖЕННЯ НАПРУГИ

1.1. Помножувачі напруги

Мультиплікатори напруги використовуються протягом багатьох років. Cockroft та Walton побудували джерело напруги 800 кВ для прискорювача іонів ще у 1932 році. З того часу використовуються конденсаторно-діодні помножувачі напруги (CDVM). Вони були потрібні зазвичай при наявності високих напруг і низьких струмів. Використання схеми CDVM зменшує розмір трансформатора високої напруги, а інколи навіть дозволяє повністю виключити трансформатор. До останніх років CDVM схема не розглядалася як високоефективна, для постачання низькочастотним джерелом живлення значної кількості енергії. Проте останні технологічні розробки дозволили спроектувати CDVM-конвертори з ефективністю, порівняною з ефективністю звичайного трансформатора, але при значно нижчій кількості компонентів у своєму складі. Наявність швидкодіючих перемикаючих діодів та транзисторів дало можливість використовувати перетворювачі на вищих частотах, що призводить до зниження вартості схем.

Також, розробка конденсаторів з високою щільністю потужності з використанням полівінілфторида (ПВФ2) або полісульфатних плівок призвело до значного зменшення розмірів та ваги CDVM конденсаторів. У 1974-1976 рр. В. Т. Гаррігіл і І. Т. Мейєрс з Науково-дослідного центру Льюїса NASA розробили перетворювач потужністю 100 Вт, 1000 В постійного струму, що працює на частотах від 50 до 200 кГц.

Ця робота також забезпечила поштовх для розвитку цього типу схеми, тим самим демонструючи доцільність розробки високоефективного, низькочастотного джерела живлення CDVM.

Метою цієї програми було розширення доступних конструкційних технологій для схем CDVM, включивши схеми управління та регулювання.

Схеми що розроблялися, були для перетворювача потужністю 1200 В, 100 Вт, котрий працював від 120 В постійного струму та мав внутрішню робочу частоту від 50 до 150 кГц.

Можливо розробити CDVM-перетворювач, який матиме продуктивність більше 90 відсотків при 100 Вт з масою компонентів приблизно 200 грамів. Здатність схеми відповідати специфікаційним вимогам, була продемонстрована шляхом створення двох блоків живлення на макеті. Були проведені численні випробування, щоб перевірити функціонування джерела живлення. Основні переваги це низька вага, висока ефективність при високій робочій частоті та усунення зазвичай громіздкого та дорогого силового трансформатора. Основним недоліком є відсутність ізоляції, яку забезпечує силовий трансформатор.

На сьогоднішній день чимало пристроїв а також складних технологічних процесів потребують наявності в мережі подвоювачів та випрямлячів напруги, зокрема прискорювачі заряджених частинок, генератори, випробувальні електроустановки для ЛЕП постійного струму, промислових фільтрів, блоки живлення різноманітних схем, рентгенівських апаратів і томографів, установок магнітоімпульсної обробки металів і таке інше.

Постійну високу напругу можливо отримати використовуючи схеми випрямлення змінної напруги. Найпростіші з них мають у своєму складі високовольтний трансформатор, конденсаторно-діодну групу, фільтри гармонік а також струмообмежувальні резистори.

Схеми розрізняють за числом фаз напруги живлення на одно-, дво-, трифазні і т.д.; за числом півперіодів змінної напруги, що використовуються, — на одно- і двопівперіодні; також вони різняться за співвідношенням між значеннями вихідної і вхідної напруги — на схеми подвоєння, потроєння, множення.

Помножувачі напруги дуже схожі на випрямлячі, так як вони перетворюють напругу змінного струму на напругу постійного струму котру

використовують в багатьох схемах та приладах, таких як мікрохвильова піч, котушка електричного поля для електронно-променевої трубки, високовольтне обладнання, та інших пристроїв, де потрібно отримувати вкрай високу напругу постійного струму, котра має утворюватись з низької напруги змінного струму.

Зазвичай, вихідна напруга постійного струму схеми випрямлення обмежена максимальним значенням синусоїдальної вхідної напруги. За допомогою випрямних діодів та конденсаторів, можливо успішно помножити цю максимальну напругу на вході, а отже і отримати вхідний струм, що дорівнює непарному або кратному значенню максимальної напруги вхідної напруги змінного струму. Розглянемо основну схему помножувача напруги.

Ми маємо схему на якій зображено симетричний помножувач напруги, який має в своєму складі два напівперіодних випрямних ланцюга. Додаючи другий діод та конденсатор до виходу стандартного напівперіодного випрямляча, ми збільшуємо його вихідну напругу. Помножувачі напруги дуже схожі на випрямлячі, так як вони перетворюють напругу змінного струму на напругу постійного струму котру використовують в багатьох схемах та приладах, таких як мікрохвильова піч, котушка електричного поля для електронно-променевої трубки, високовольтне обладнання, та інших пристроїв, де потрібно отримувати вкрай високу напругу постійного струму, котра має утворюватись з низької напруги змінного струму.

Зазвичай, вихідна напруга постійного струму схеми випрямлення обмежена максимальним значенням синусоїдальної вхідної напруги. За допомогою випрямних діодів та конденсаторів, можливо успішно помножити цю максимальну напругу на вході, а отже і отримати вхідний струм, що дорівнює непарному або кратному значенню максимальної напруги вхідної напруги змінного струму. Розглянемо основну схему помножувача напруги.

Ми маємо схему на якій зображено симетричний помножувач напруги, який має в своєму складі два напівперіодних випрямних ланцюга. Додаючи другий діод та конденсатор до виходу стандартного напівперіодного випрямляча, ми збільшуємо його вихідну напругу.

1.2. Відомості про використане програмне забезпечення.

Метою мого дослідження буде безпосереднє моделювання схем множення напруги а також моделювання та дослідження впливу пульсацій напруги на характеристики часткових розрядів. Для досягнення поставленого завдання буде використовуватися програма схмотехнічного моделювання «Micro-Cap 12 Evaluation Version».



Рис. 1.2.1. Офіційний логотип програми схмотехнічного моделювання
«Micro-Cap 12 Evaluation Version»

Обране мною програмне забезпечення вже успішно використовувалося під час написання бакалаврської дипломної роботи. «Micro-Cap 12 Evaluation Version» - це SPICE-подібна програма для аналогового і цифрового схмотехнічного моделювання електричних та електронних схем. Розроблена програма компанією Spectrum Software. Використовується на базі операційних систем Microsoft Windows. Починаючи з 11 версії, дане ПЗ виконане як для 32-бітних пристроїв, так і для більш потужних 64-бітних ПК. Обране ПЗ має

зручний та інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс, що полегшує користувачу навчання та адаптацію до середовища.

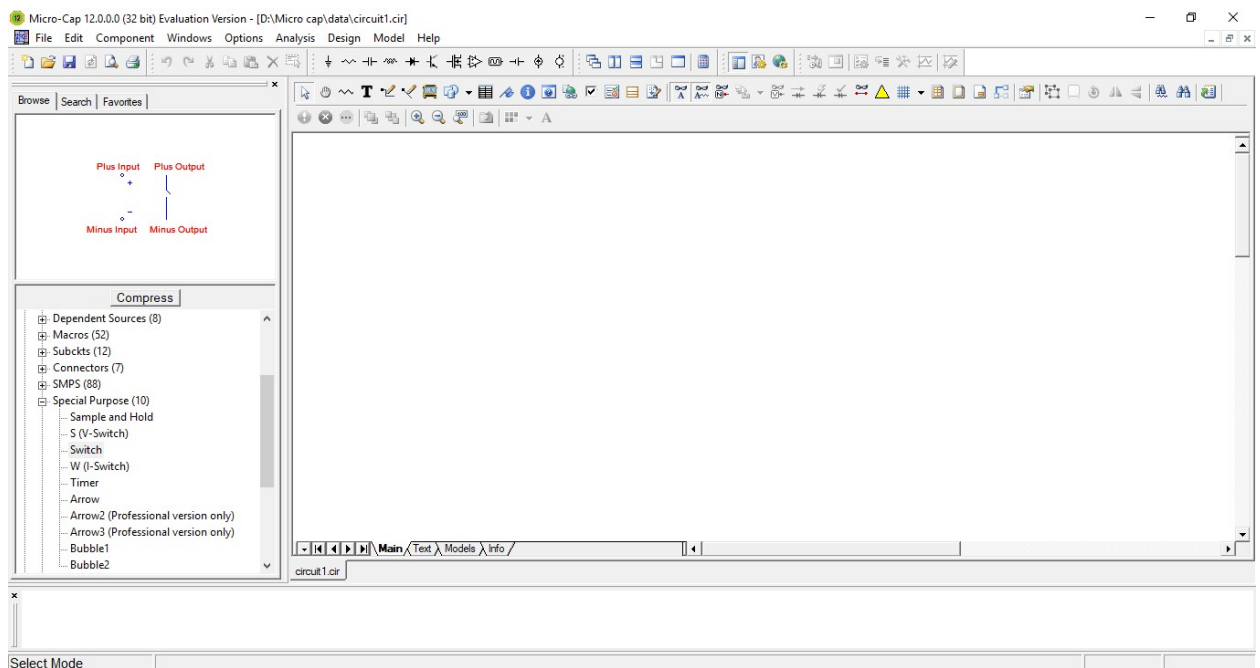


Рис. 1.2.2. Знімок основного інтерфейсу середовища «Micro-Cap 12 Evaluation Version»

В центрі екрану знаходиться середовище в якому безпосередньо зображається схема що моделюється з основними елементами та розмінностями. Всі елементи що проектуються можливо редагувати, змінювати, переміщати за допомогою периферії ПК. В лівій частині знаходиться середовище котре вміщає в собі бібліотеки з великою кількістю моделей і типів елементів електротехнічних схем аналогів реальним прототипам. В нижній частині екрану розміщається середовище що слугує для інформування користувача про можливі помилки при моделюванні схем, та можливі шляхи їх усунення. В верхній частині екрану розміщено коротку стрічку меню вибору найчастіше використовуваних елементів схем, а також численні меню що слугують для взаємодії та редагування схеми в цілому та окремих її елементів. Найвища строка вкладок слугує для функцій збереження, копіювання, друку, виклику довідки та дій спрямованих на

отримання необхідних графіків для аналізу змодельованих схем. Програма має записані в своїй пам'яті приклади найпоширеніших та найпотрібніших будь-якому інженеру енергетику схем для спрощення роботи та економії часу.

1.3. Висновки до розділу 1

Напруга, створена схемою помножувача, в теорії необмежена, але зважаючи на низьке регулювання напруги та низької потужності струму, вони призначені для збільшення напруги на коефіцієнт менше, ніж десять. Але, в тому випадку коли помножувач гарно спроектовано спеціально під трансформатор, то він може виробляти вихідну напругу до десятків тисяч вольт в залежності від початкового значення вхідної напруги, але даний пристрій має низькі струми на проміжку міліамперів.

Для моделювання схем подвоєння, потроєння та множення напруги буде використовуватися програма схемо технічного моделювання «Micro-Cap 12 Evaluation».

2. МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ ТА МНОЖЕННЯ НАПРУГИ

2.1. Моделювання схем однопівперіодного випрямлення

Схема однопівперіодного випрямлення являється однією з найпростіших, тому в її склад включено дуже малу кількість елементів. Вона складається з одного діода $D1$, резистора $R2$ а також увімкнених паралельно конденсатора $C1$ та резистора R на якому моделюється заземлення. Зазвичай дана схема не виступає як окремий випрямляч а являється складовою складних каскадних схем випрямлення напруги.

Всі однофазні випрямлячі являються твердо тільними частинами основного пристрою перетворення змінного струму на постійний струм. Однофазні неконтрольовані напівперіодні випрямлячі є найпростішою і, можливо, найпоширенішою схемою випрямлення для малих рівнів потужності.

Для неконтрольованих схем випрямлення напівпровідникові діоди є найбільш часто використовуваними елементами схеми і слугують для створення напівперіодного або повноширотного випрямного ланцюга. Перевага використання діодів як пристроїв випрямлення полягає в тому, що за конструкцією вони є однонаправленими пристроями, що мають вбудоване одностороннє рп-з'єднання.

Це рп-з'єднання перетворює двонаправлений змінний струм на струм одностороннього зв'язку, виключивши половину подачі. Залежно від з'єднання діода, він може, наприклад, пропускати позитивну половину форми сигналу змінного струму при прямому зміщенні, усунути негативний півцикл, коли діод стає зворотним упередженням.

При режимі навантаження діод відкритий в інтервалах часу, коли потенціал анода буде вищий ніж потенціал катода. Падіння U на резисторі не дає змоги конденсатору зарядитись в період часу до напруги U . Весь залишковий час під час проходження періоду діод закритий, і конденсатор C розряджається на опір навантаження R_n , через що і відбуваються пульсації випрямленої напруги з при частоті мережі.

У випадку холостого ходу конденсатор C коли саморозряду немає заряджається до амплітудного значення напруги на боці високої напруги трансформатора T .

Струмообмежувальний опір R вибирають, виходячи з умови $R=U/I$, де I – припустимий прямий струм діода.

Напруга на діоді при холостому ході буде пульсувати від нуля до $2U$. Отже, таким чином зворотна напруга діода має перевищувати $2U$. Робочу напругу конденсатора вибирають рівною U . У навантажувальному режимі відбувається процес підмагнічування сталі магнітопроводу постійною складовою магнітного потоку, це враховують під час вибору потужності трансформатора. Частота пульсації вихідної напруги має бути рівна частоті мережі. У схемі вважається допустимим одночасне заземлення високовольтної обмотки трансформатора і навантаження.

Вихідний опір джерела напруги мінімальний.

Заземлення довільної точки ізольованої системи електроживлення не змінює напругу і силу струму навантаження.

При моделюванні даної схеми джерело напруги буде задано функцією $100 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50t)$.

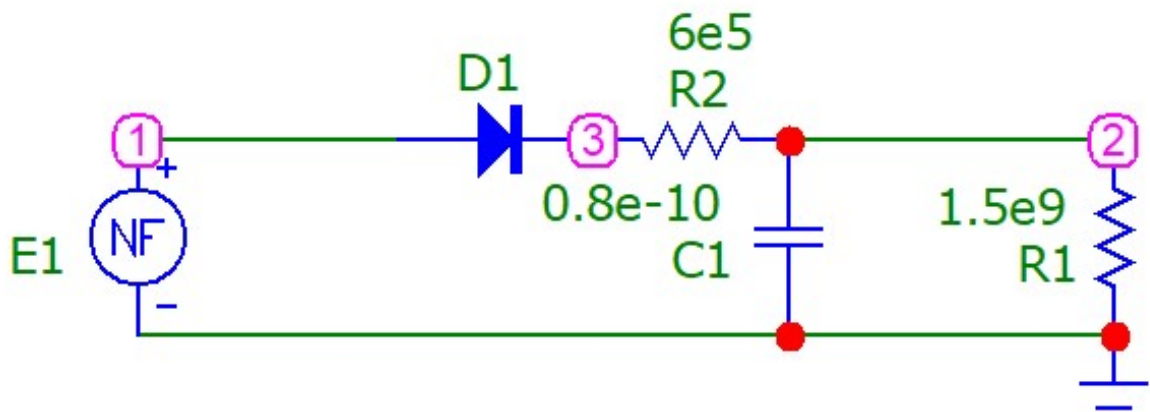


Рис. 2.1.1. Змодельована схема однопівперіодного випрямляча в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Струмообмежувальний опір було обрано виходячи з формули $R=U/I$

Де I – допустимий струм. $R=6 \cdot 10^5$ Ом.

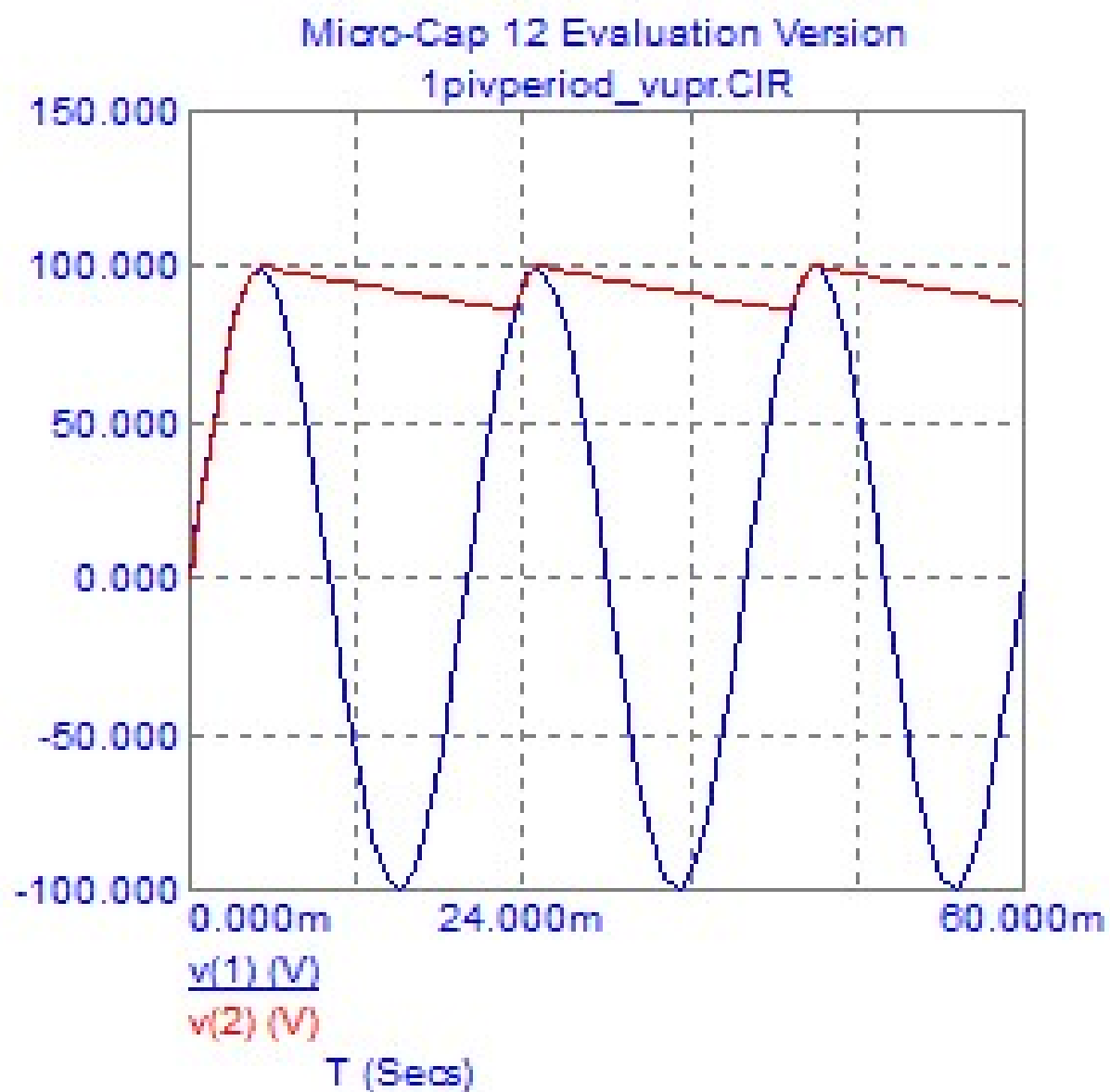


Рис. 2.1.2. Отримана осцилограма схеми однопівперіодного випрямляча в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.2. Моделювання схем двопівперіодного випрямлення

Моделювання двофазного контуру потребує наявності в схемі чотирьох силових транзисторів у порівнянні з двома для однофазного контуру. Проте, двофазний контур має деякі істотні переваги. По-перше, сумарна ємність і необхідний запас енергії зменшено до приблизно 40% від ємності необхідної для однофазного ланцюга, припускаючи рівний вихід напруга пульсації для кожного типу. Втрати в двофазній системі також на 50% менші ніж в однофазній системі. Іншими перевагами двофазної системи є нижчі пікові струми в транзисторах.

Один із способів вдосконалення схем випрямлення полягає в тому, щоб використовувати кожний напівперіод вхідної напруги замість кожного другого півцикла. Схема, яка дозволяє нам це зробити, називається схемою повного хвильового випрямляча.

Повний випрямний ланцюг дає вихідну напругу або струм, який є постійним або має певний заданий постійний компонент. Випрямлячі з повною хвилею мають ряд принципівих переваг над їхніми напівпровідниковими випрямлячами. Вихідна напруга середнього (постійного струму) вища, ніж напівперіодна, на виході такого випрямляча набагато менше пульсацій, ніж на попередньому.

У схемі повного хвильового випрямляча використовуються два діоди, по одному для кожної половини циклу. Використовується трансформатор з множинними обмотками, вторинна обмотка якої рівномірно розподілена на дві половини з загальним центральним з'єднанням. Ця конфігурація призводить до того, що кожен діод проводить струм по черзі, коли його анодний термінал є позитивним щодо центральної точки трансформатора, що виробляє вихідний сигнал в обох напівперіодних циклах, у два рази більше, ніж у напівпровідникового випрямляча, тож це однозначно ефективніше.

Схема випрямлення повного струму складається з двох силових діодів, підключених до одного опору навантаження (RL), причому кожен діод приймає його по черзі для подачі струму на навантаження. Коли точка А трансформатора позитивна щодо точки С, діод D1 веде в прямому напрямку. Коли точка В позитивна (у негативній половині циклу) відносно точки С, діод D2 веде в прямому напрямку, а струм, що протікає через резистор R, знаходиться в тому ж напрямку для обох напівциклів. Оскільки вихідна напруга на резисторах R являє собою фазову суму двох комбінацій хвиль, цей тип повного випрямного ланцюга також відомий як "двофазний" ланцюг.

В даній роботі буде змодельовано два двопівперіодних випрямляча що мають назви відповідно мостова схема (схема Гретца) двопівперіодного випрямляння та двопівперіодна схема з виведеною середньою точкою трансформатора. Всі двопівперіодні схеми мають однотипний перелік переваг, а саме: подвоєна частота пульсації випрямленої напруги; відсутнє підмагнічування сталі трансформатора постійним магнітним потоком; малий вихідний опір.

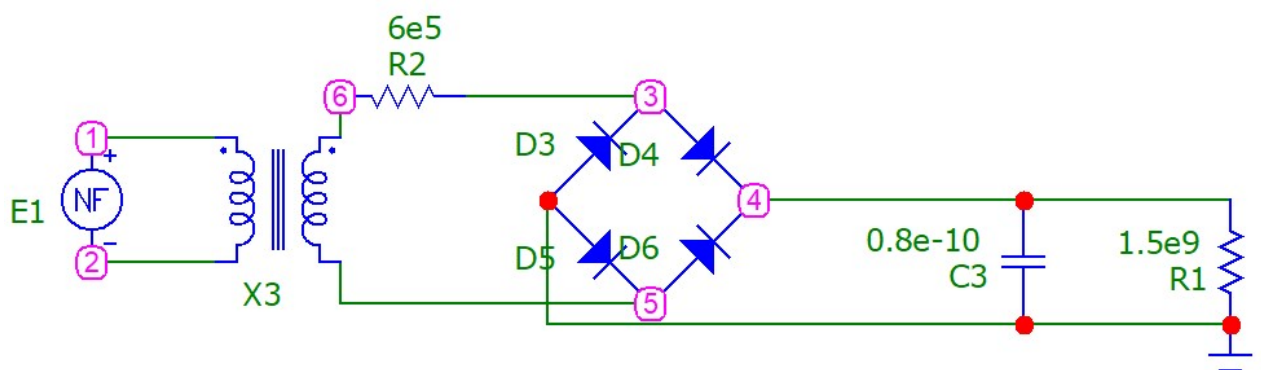


Рис. 2.2.1. Змодельована схема мостового двопівперіодного випрямляння (схеми Гретца) в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

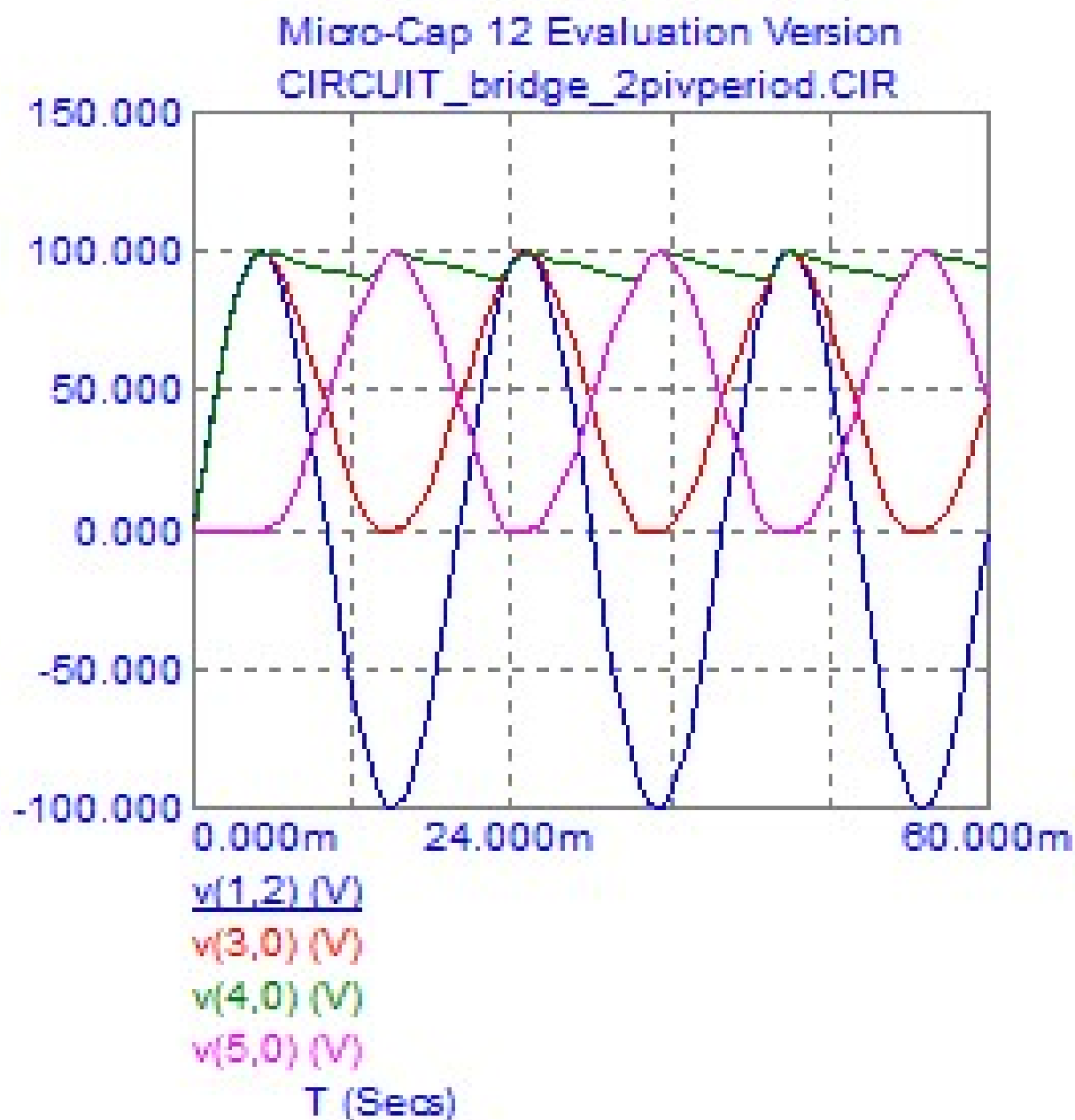


Рис. 2.2.2. Отримана осцилограма схеми мостового двопівперіодного випрямлення (схеми Гретца) в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

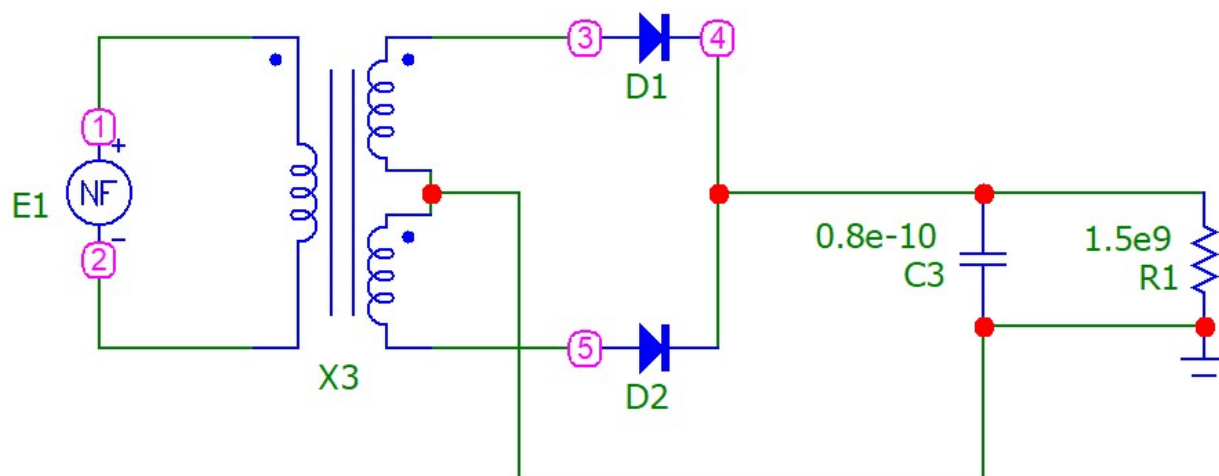


Рис. 2.2.3. Змодельована схема двопівперіодного випрямляча з виведеною середньою точкою трансфоаматора в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

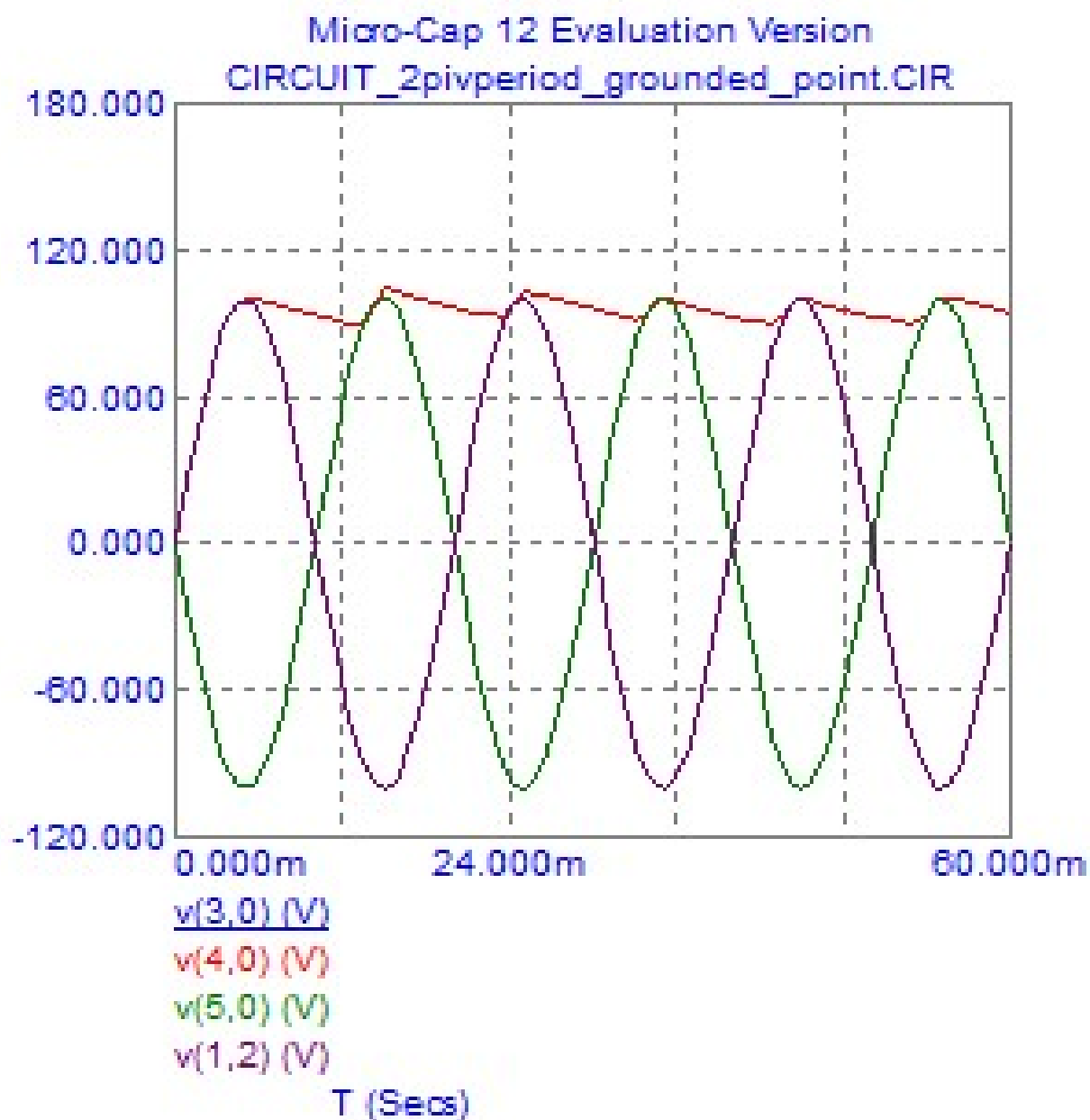


Рис. 2.2.4. Отримана осцилограма схеми двопівперіодного випрямляча з виведеною середньою точкою трансфоаматора в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.3. Моделювання схем подвоєння напруги

Подвоювачі напруги багато в чому подібні до випрямлячів, так як вони перетворюють напругу змінного струму на напругу постійного струму для використання в багатьох електричних та електронних схемах, таких як мікрохвильові печі, котушки електричного поля для електронно-променевих трубок, електростатичне та високовольтне випробувальне обладнання, де необхідно мати дуже високу напругу постійного струму, що генерується з низької напруги живлення змінного струму.

Як правило, вихідна напруга постійного струму (V_{dc}) схеми випрямлення обмежується піковим значенням його синусоїдальної вхідної напруги. Але, використовуючи декілька випрямних діодів та конденсаторів разом, стає можливим ефективно помноження цієї пікової напруги, щоб отримати вихідний струм, котрий буде рівним непарному або навіть кратному значенню максимальної вхідної напруги змінного струму.

Розглянемо типову двотактну схему подвоєння напруги:

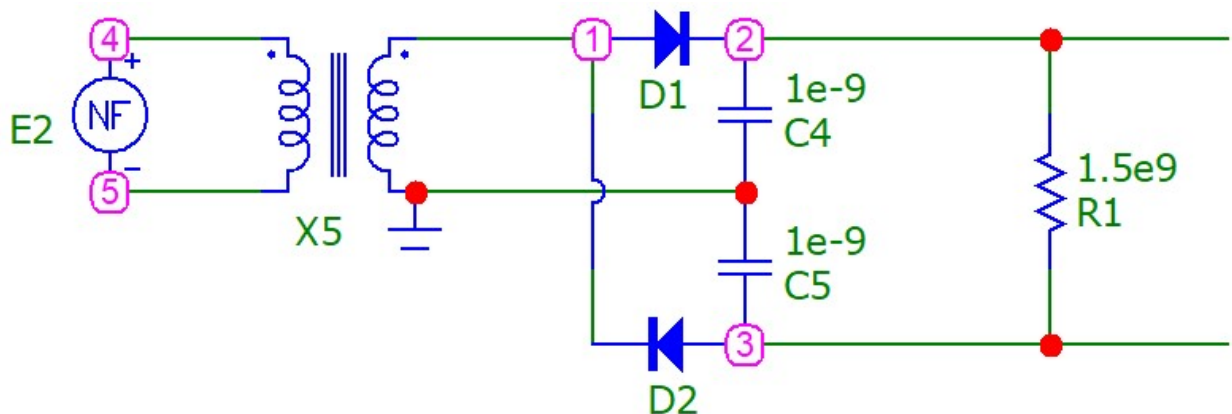


Рис. 2.3.1. Змодельована двотактна схема подвоєння напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Наведена схема показує базовий симетричний подвоювач напруги. Ця схема складається з двох напівперіодних випрямних ланцюгів. При додаванні другого діода та конденсатора до виходу стандартного напівперіодного випрямляча, отримуємо збільшену вихідну напругу на задану величину. Ця конфігурація мультиплікатора напруги також іноді зустрічається під назвою «повнохвильова схема» (Full Wave Series).

Коли синусоїдальна вхідна напруга позитивна, конденсатор C1 заряджається через діод D1, а коли синусоїдальна напруга стає негативною, конденсатор C2 заряджається через діод D2. Вихідна напруга отримується через два послідовно з'єднані конденсатори.

Напруга, вироблена схемою подвоювача напруги, теоретично необмежена, але через відносно низьке регулювання напруги за низької потужності струму, вони призначені для збільшення напруги на коефіцієнт менший ніж десять. Але, якщо вони дана схема правильно розроблені спеціально під конкретний трансформатор, то схеми множника напруги здатні виробляти вихідні напруги в діапазоні від декількох сотень до десятків тисяч вольт залежно від їх початкового значення вхідної напруги, але всі вони мають низькі струми в діапазоні міліамперів.

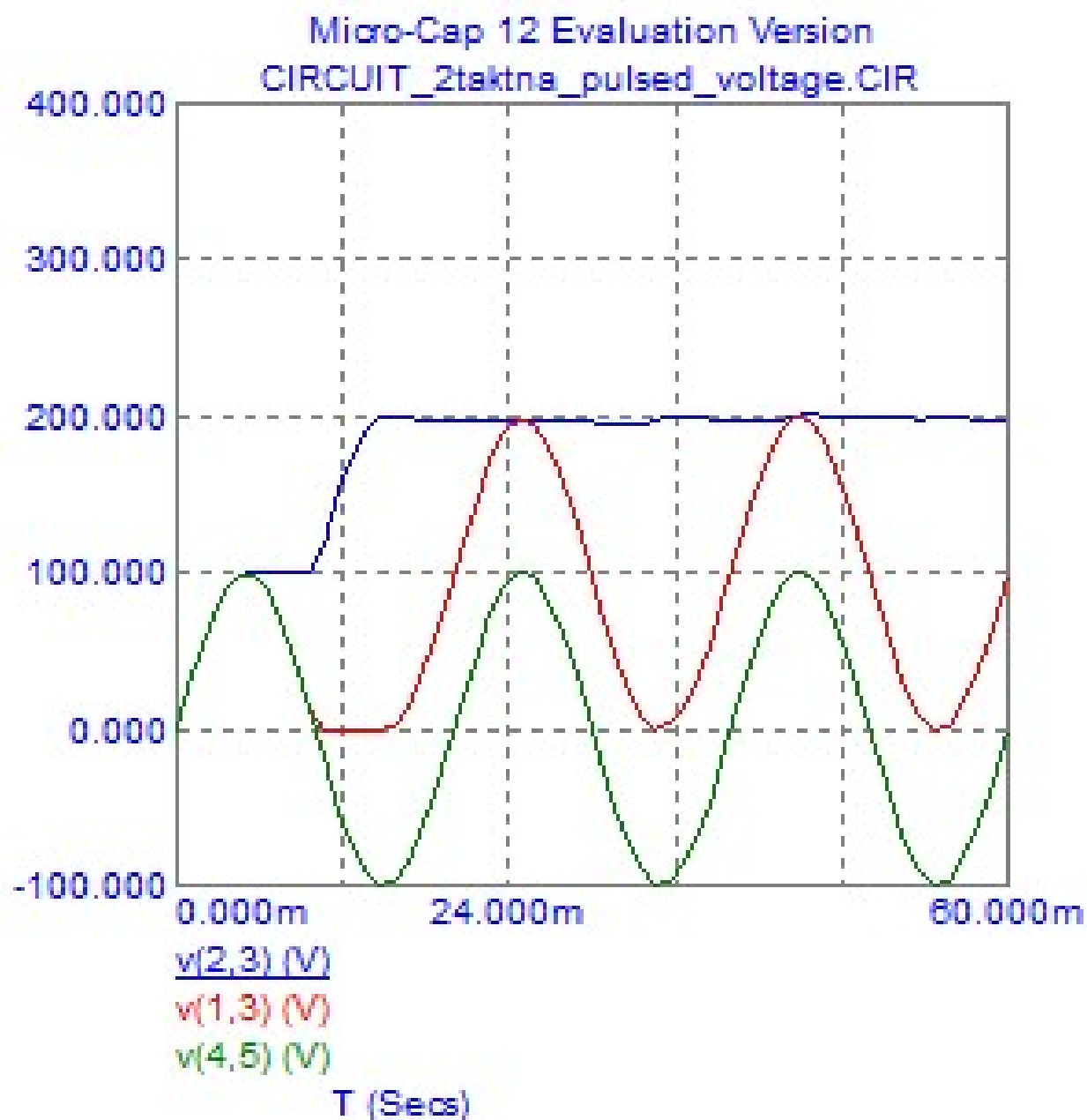


Рис. 2.3.2. Отримана осцилограма схеми двотактної схеми подвоєння напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Існують також і інші схеми подвоєння напруги, котрі мають свої переваги та свої недоліки.

Так схема Грейнахера—Латура дає можливість під час паралельного і зустрічного з'єднань конденсаторів додатково підзаряджати кожний з них від живильного трансформатора до напруги $0.5U_M$.

Перевагою даної схеми полягає у можливості одночасного заземлення однієї точки обмотки високої напруги трансформатора та однієї точки випробовуваного об'єкта. Недоліками схеми є більший вихідний опір, ніж у попередній схемі, потреба вибору конденсатора C , при напругзі $2 U_M$, пульсація вихідної напруги з частотою мережі.

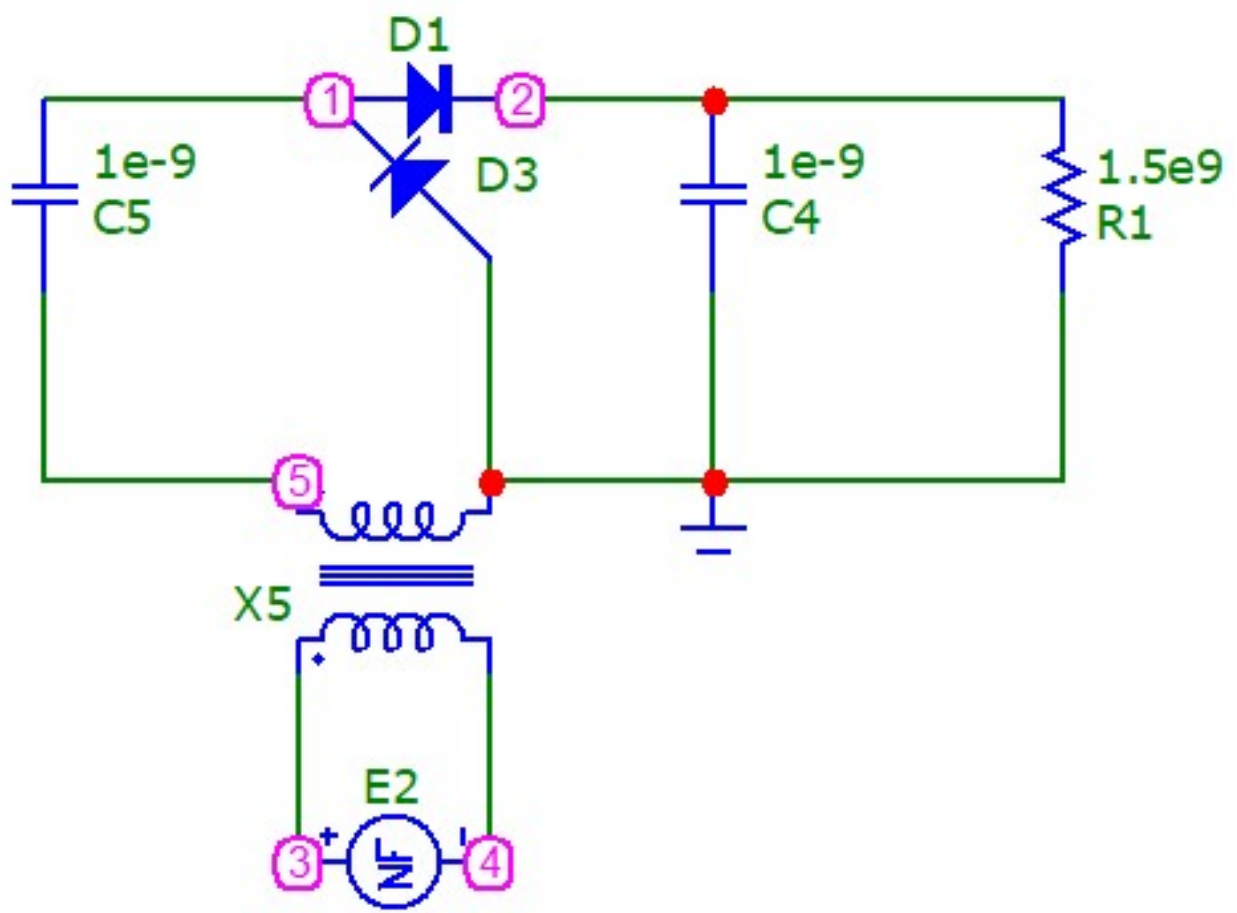


Рис. 2.3.3. Змодельована схема Грейнахера—Латура в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

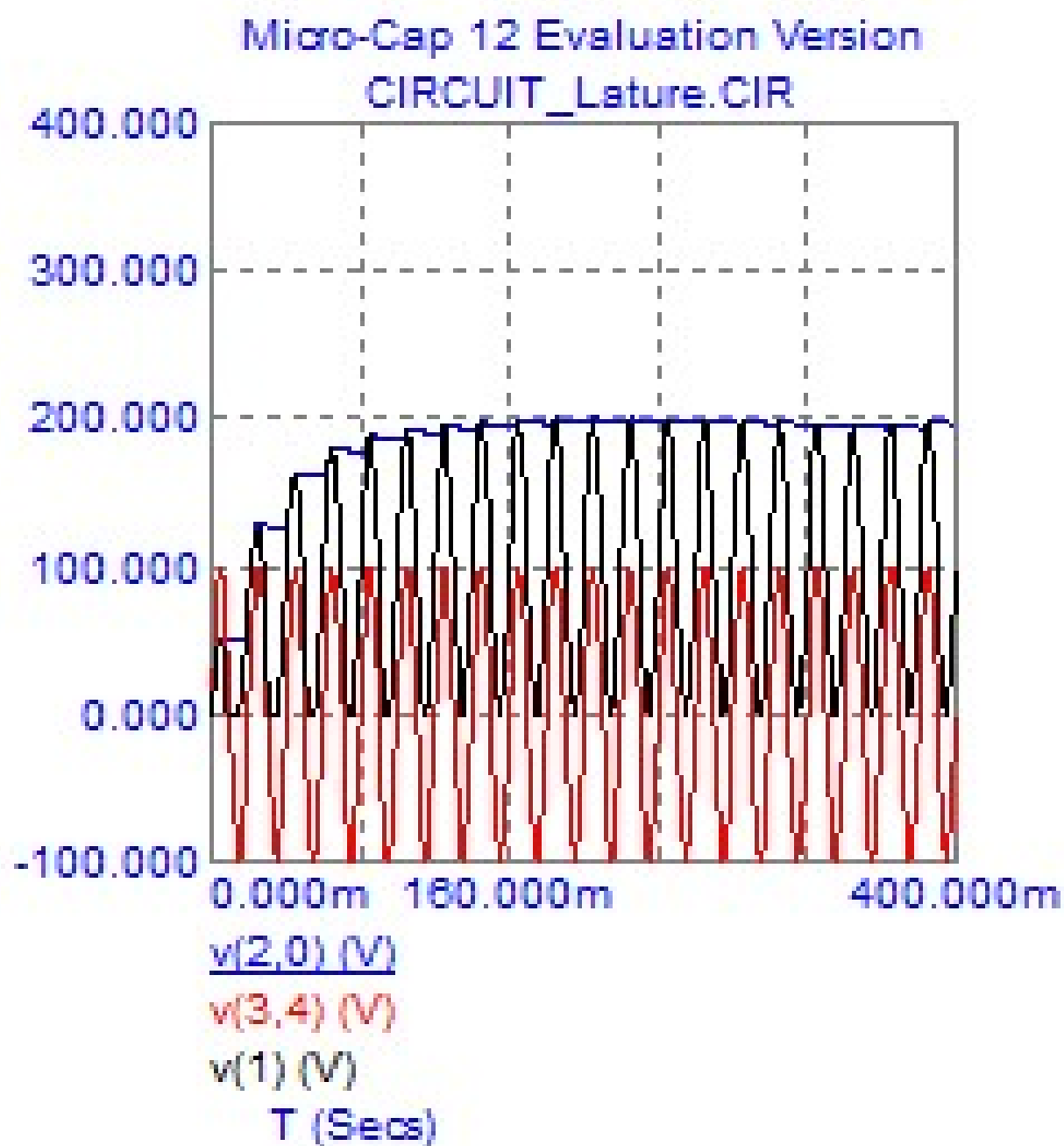


Рис. 2.3.4. Отримана осцилограма схеми Грейнахера—Латура в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.4. Моделювання схеми потроєння напруги

В даній роботі буде змодельовано типову схему потроєння напруги.

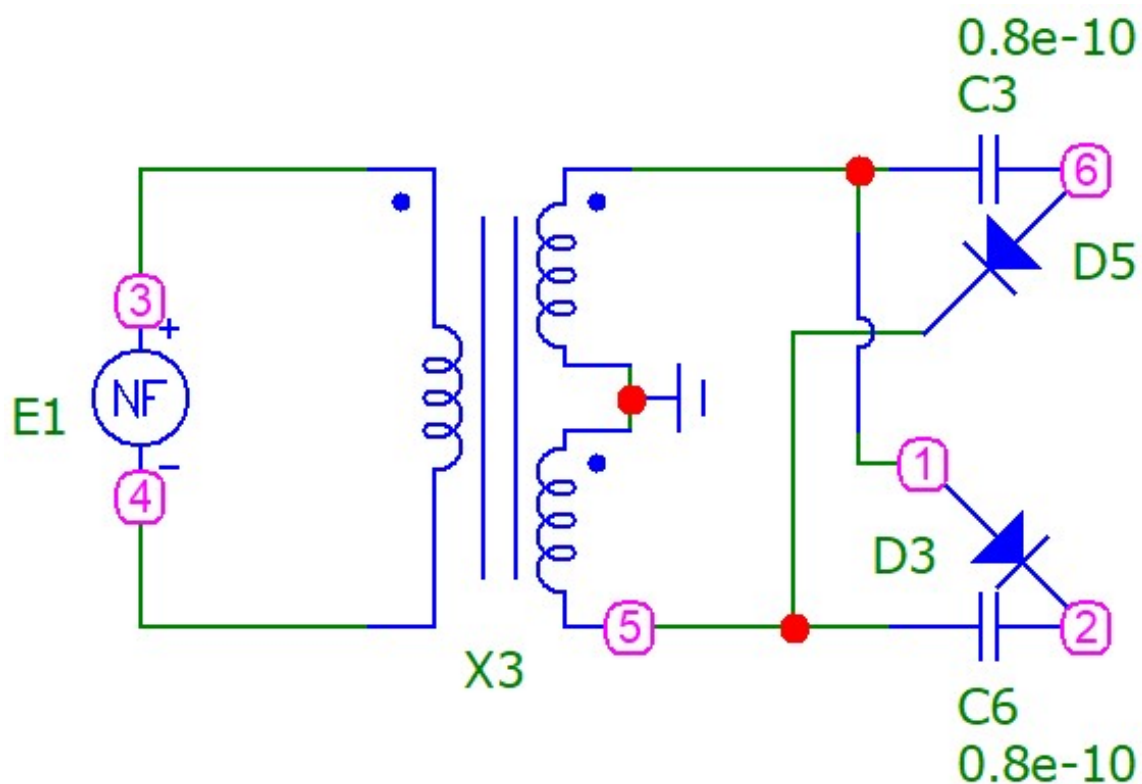


Рис. 2.4.1. Змодельована схема потроєння напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

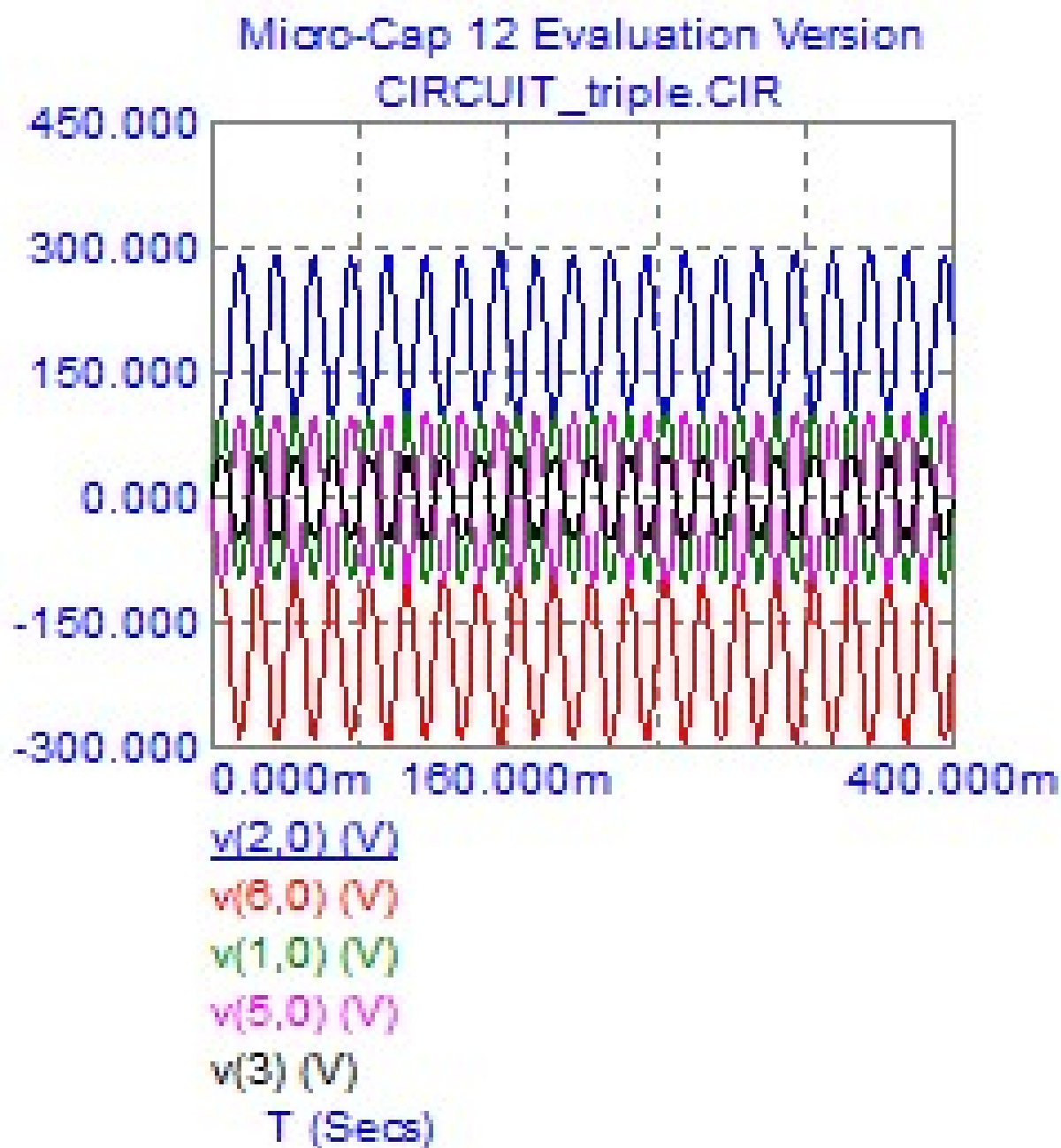


Рис. 2.4.2. Отримана осцилограма схеми потроєння напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.5. Моделювання двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги.

При послідовному з'єднанні двох схем потроєння напруги можливо отримати два режими роботи. При узгодженому режимі роботи обмоток трансформаторів або при зустрічному їх з'єднанні. Однак застосування даної схеми обмежується через їх вкрай великий вихідний опір.

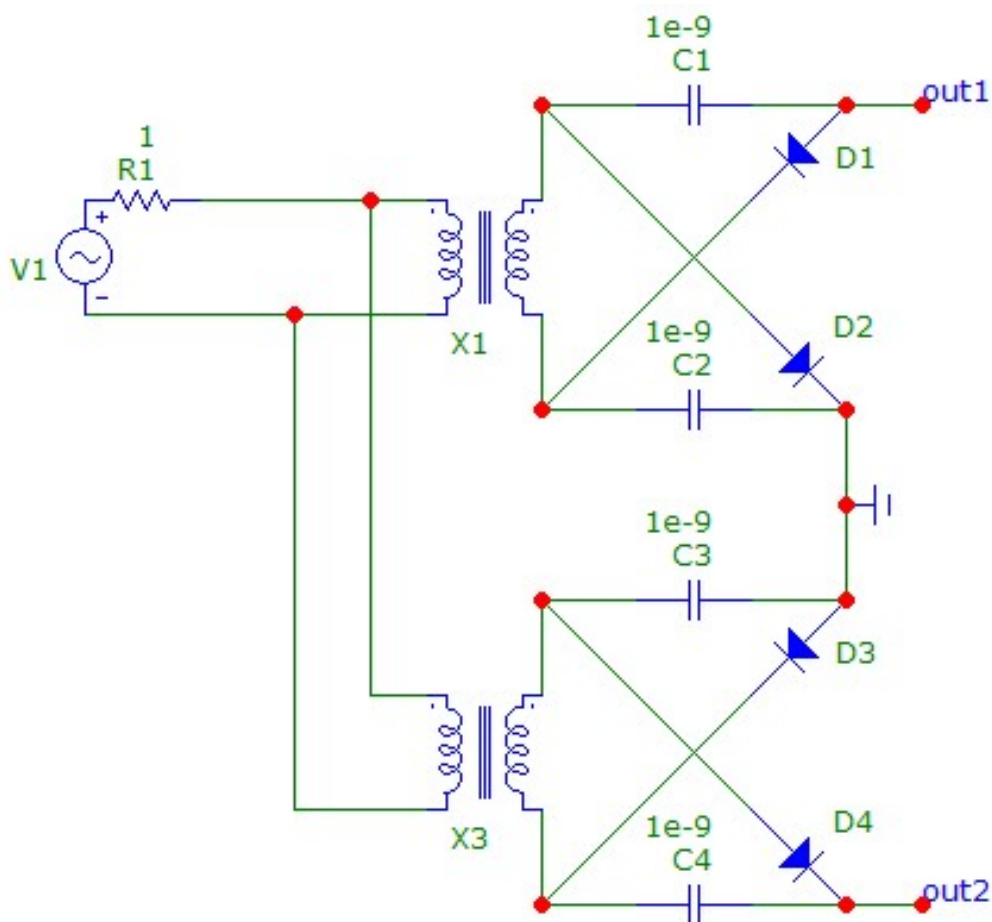


Рис. 2.5.1. Змодельована схема двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

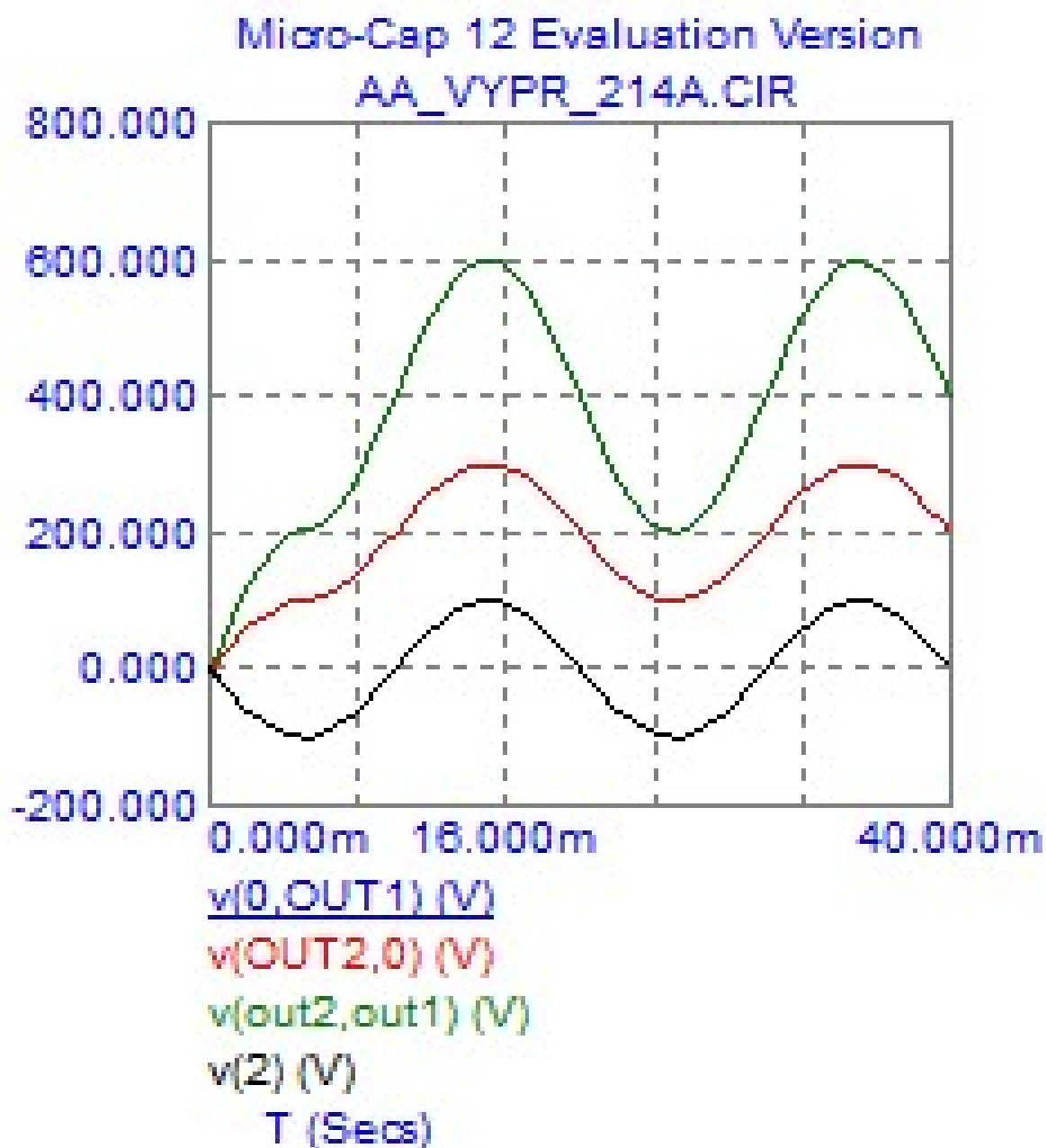


Рис. 2.5.2. Отримана осцилограма схеми двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги при узгодженому режимі роботи обмоток трансформаторів у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

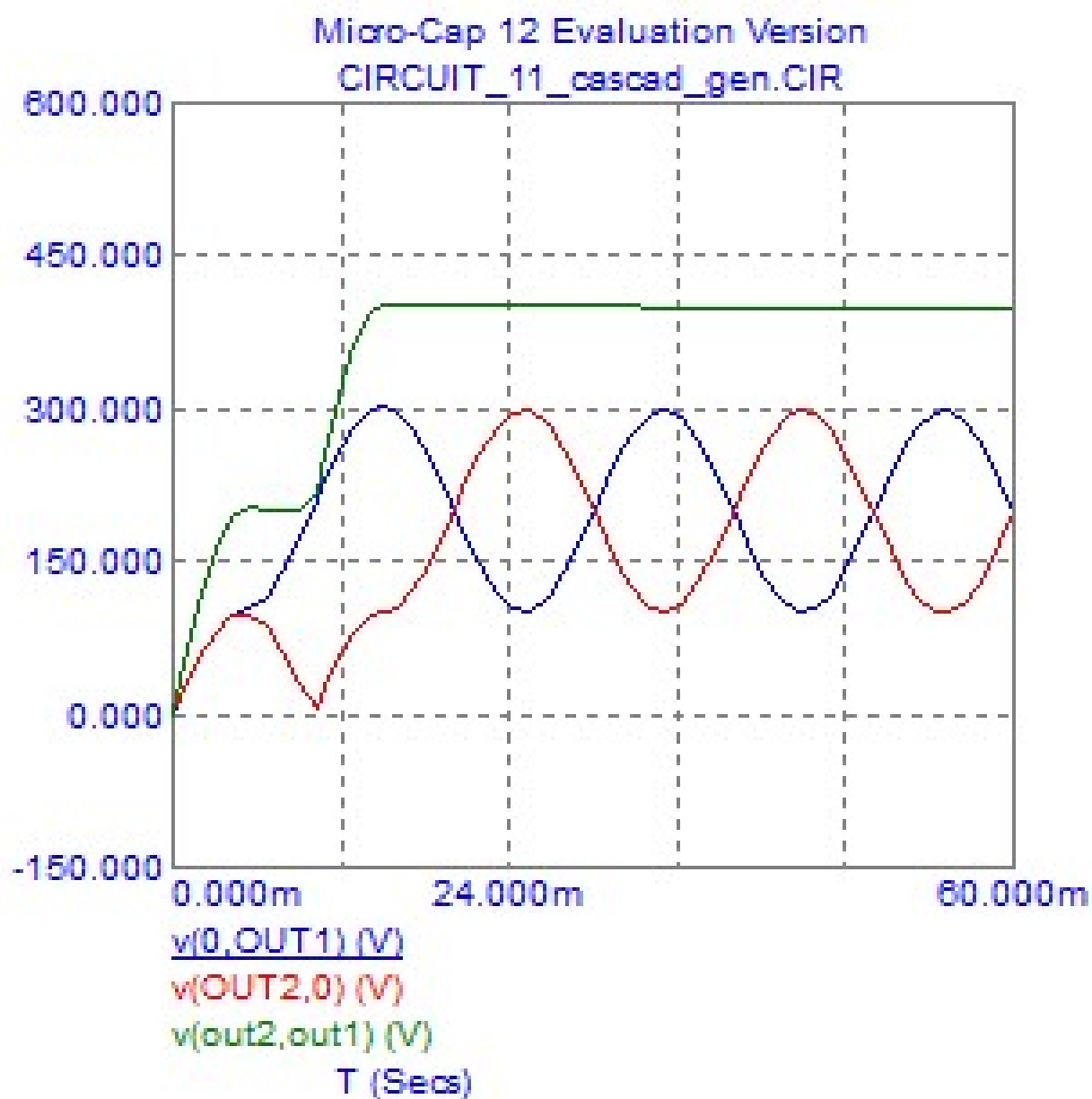


Рис. 2.5.3. Отримана осцилограма схеми двох послідовно з'єднаних схем
потрєсання напруги при зустрічному з'єднанні обмоток у середовищі
«Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.6. Моделювання схем каскадних з'єднань випрямних пристроїв

Каскадні з'єднання найпростіших випрямних пристроїв дають змогу без пошкоджень ізоляції джерела яке їх живить, одержувати на виході напругу, що дорівнює сумі напруг окремих пристроїв.

Каскадні генератори зазвичай працюють від електромереж, синхронних генераторів або інверторів використовуючи регулятор напруги. Найпростіші випрямні пристрої завжди з'єднано послідовно. Один кінець ланцюга випрямлячів заземлюється, а до протилежного кінця приєднують навантаження. Живлення випрямлячів від підвищувального високовольтного трансформатора виконується в два можливих способа, або послідовно, або паралельно.

У схемах наявна ємнісна розв'язка за високою постійною напругою, та індуктивною напругою. Індуктивна розв'язка здійснюється за допомогою розподільних трансформаторів, а в деяких схемах, обмотка ВН трансформатора ділиться на кілька секцій, кожна з яких з'єднується з випрямним пристроєм.

Окремі секції обмотки ВН об'єднано магнітним потоком. Але якщо секції обмотки ВН трансформатора ізолюються від магнітопроводу й обмотки НН на повну випрямлену напругу, то магнітопровід трансформатора розрізано на ізольовані одна від одної частини, з'єднані з відповідними випрямлячами. Плівкова ізоляція, котра прокладена між частинами магнітопроводу, являється головною ізоляцією трансформатора. В установці зв'язуючою ланкою елементів, утворених замкненими магнітопроводами і розміщеними на них секціями обмотки ВН, є спільні ампер-витки обмотки НН, які заізольовані на повну вихідну напругу.

Основними параметрами генератора постійної високої напруги (КГПВН) є номінальна напруга U_n , номінальний випрямлений струм I , номінальна потужність і кількість ступенів n каскаду. Якість генератора оцінюється за його КПД, а також за значеннями внутрішнього падіння напруги і пульсації вихідної напруги у навантажувальному режимі роботи. В даній роботі мною було змодельовано і досліджено каскадну схему Грайнахера при двох режимах роботи: звичайному та навантажувальному. В каскаді може бути n -на кількість з'єднань, але з метою зменшення нагромадження рисунків у роботі мною було обрано найпростіший випадок з трьома каскадами.

Для даної схеми було задано $C4, C5=U$ і відповідно $C6, C7, C8, C9=2U$ згідно з особливостями даної схеми.

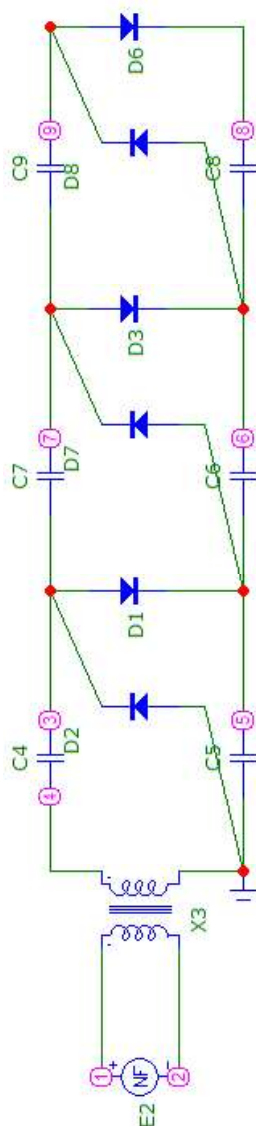


Рис. 2.6.1. Змодельована каскадна схема Грайнахера в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

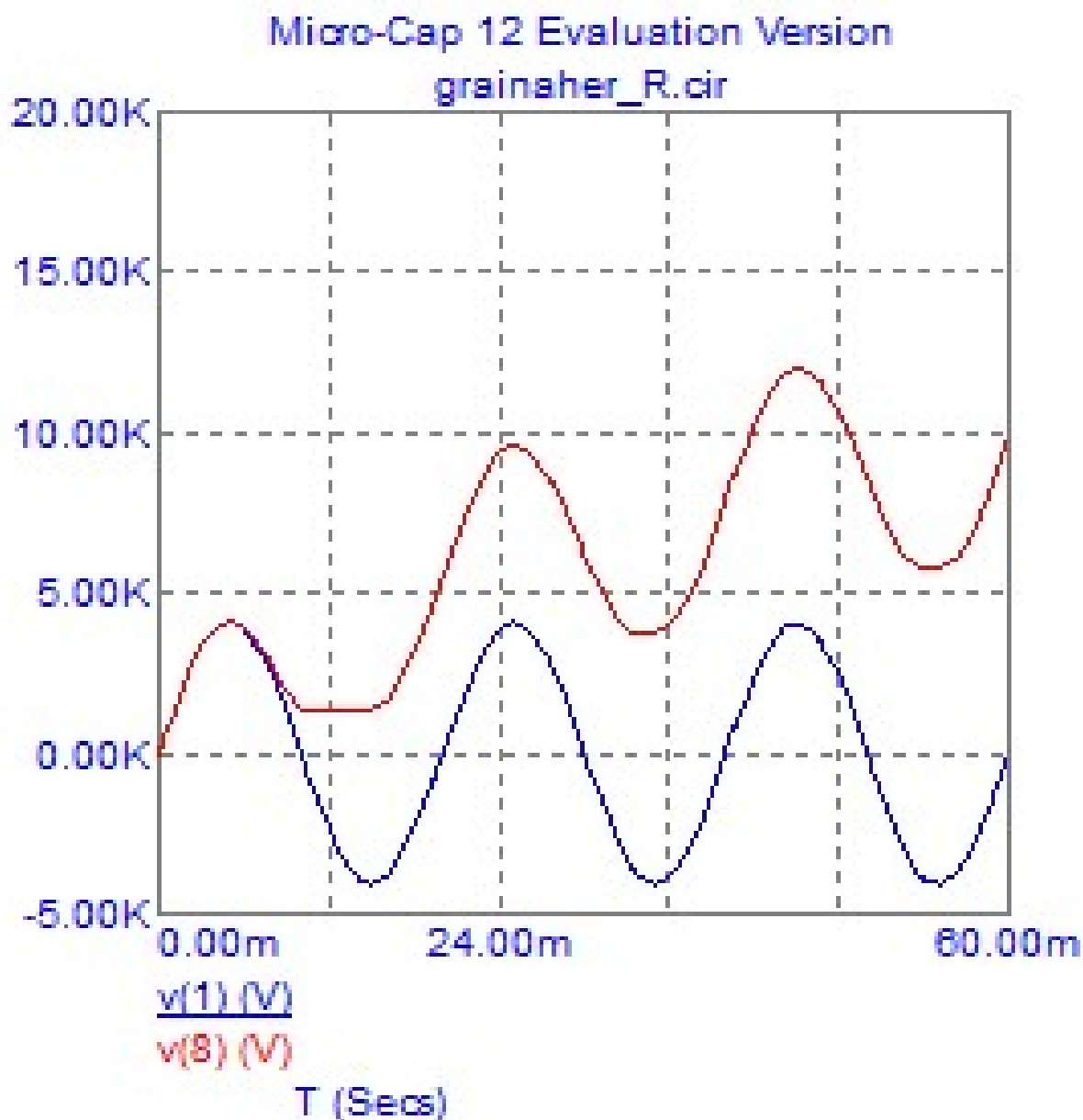


Рис. 2.6.2. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Також знімемо напруги на кожному з отриманих вузлів каскадів для отримання повноти картини зміни напруги в даній схемі. Після цього на окремому графіку буде проведено порівняння всіх отриманих напруг для наочності.

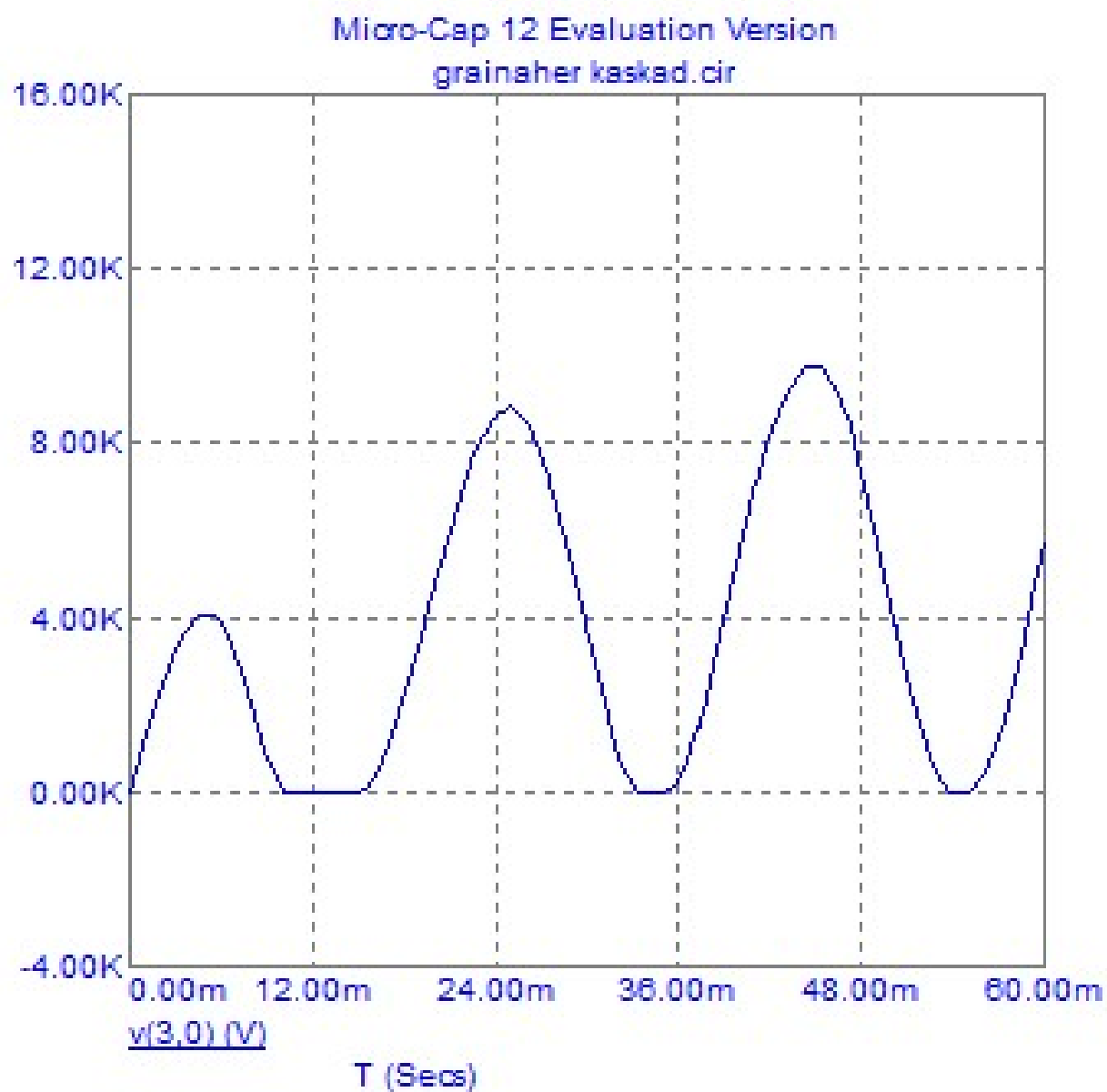


Рис. 2.6.3. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_1) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

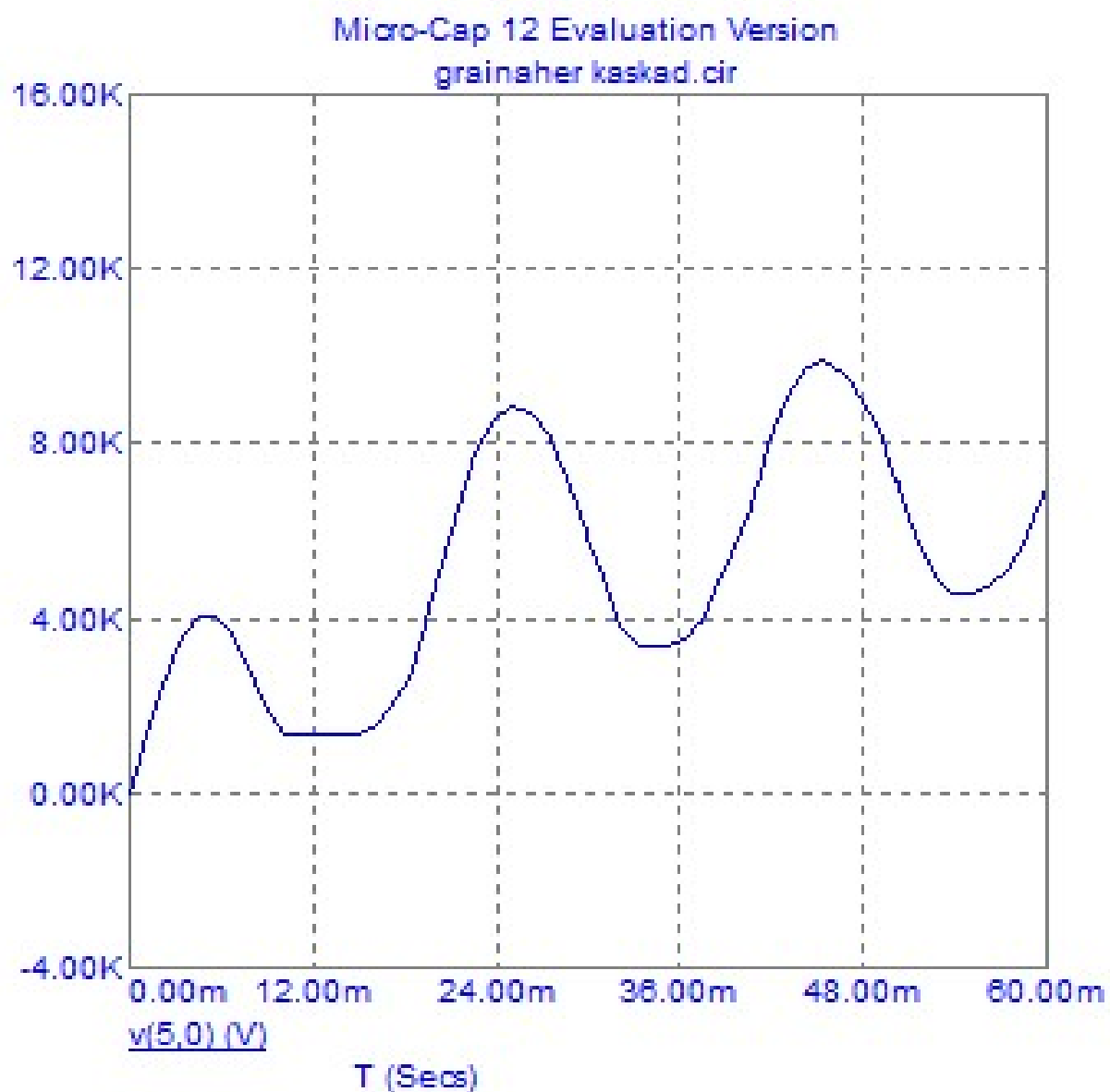


Рис. 2.6.4. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_2) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

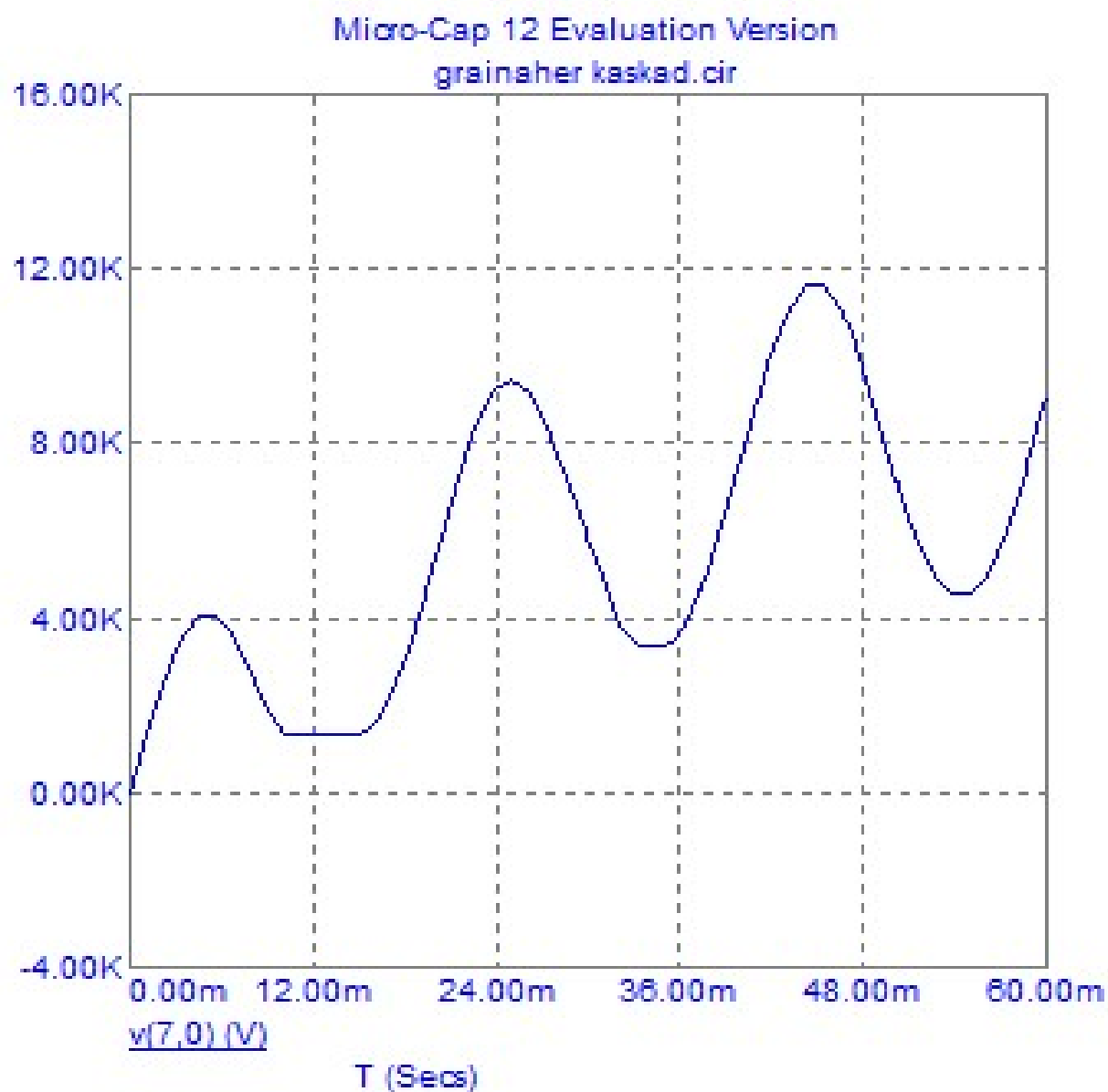


Рис. 2.6.5. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_3) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

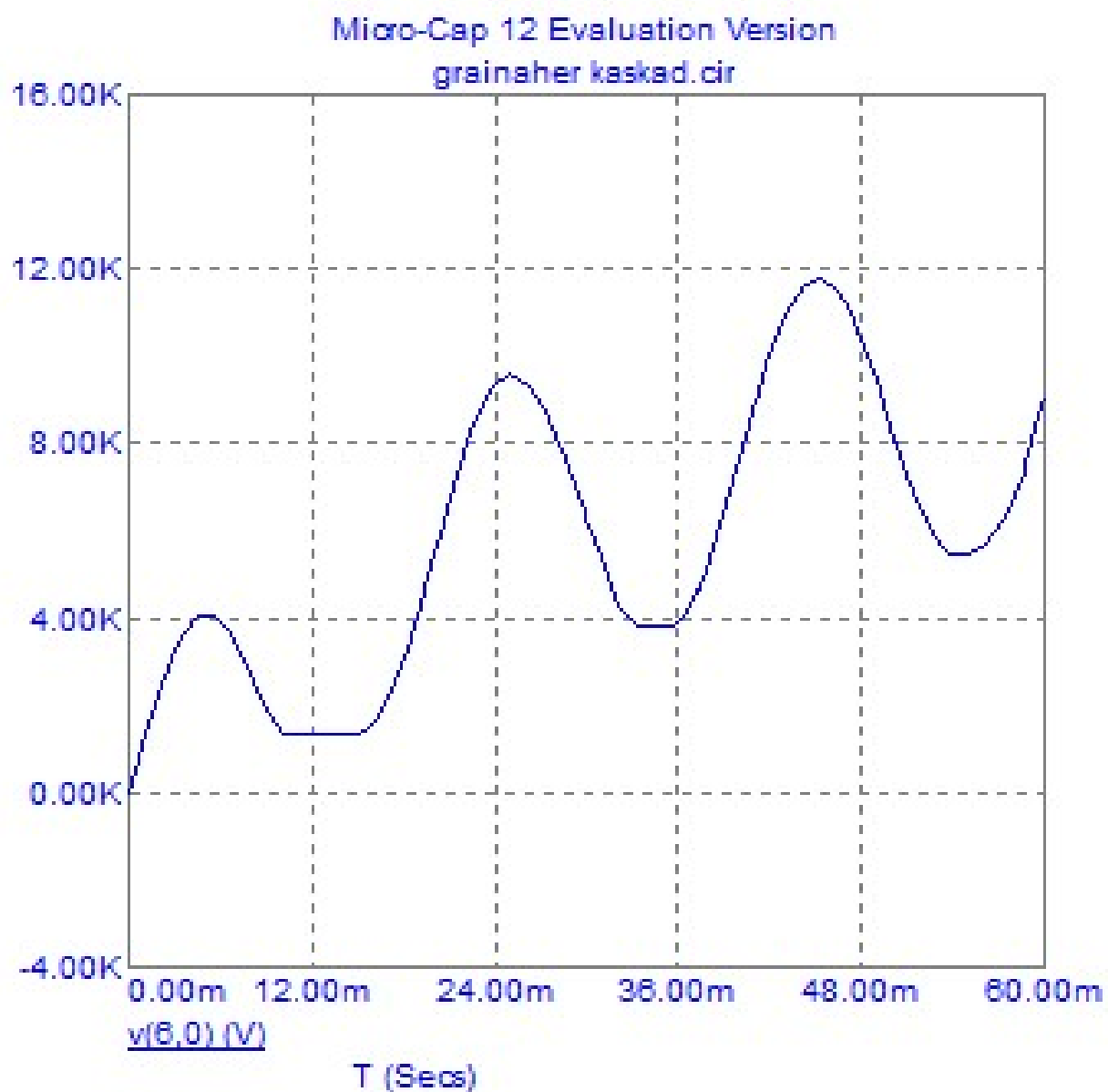


Рис. 2.6.6. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_4) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

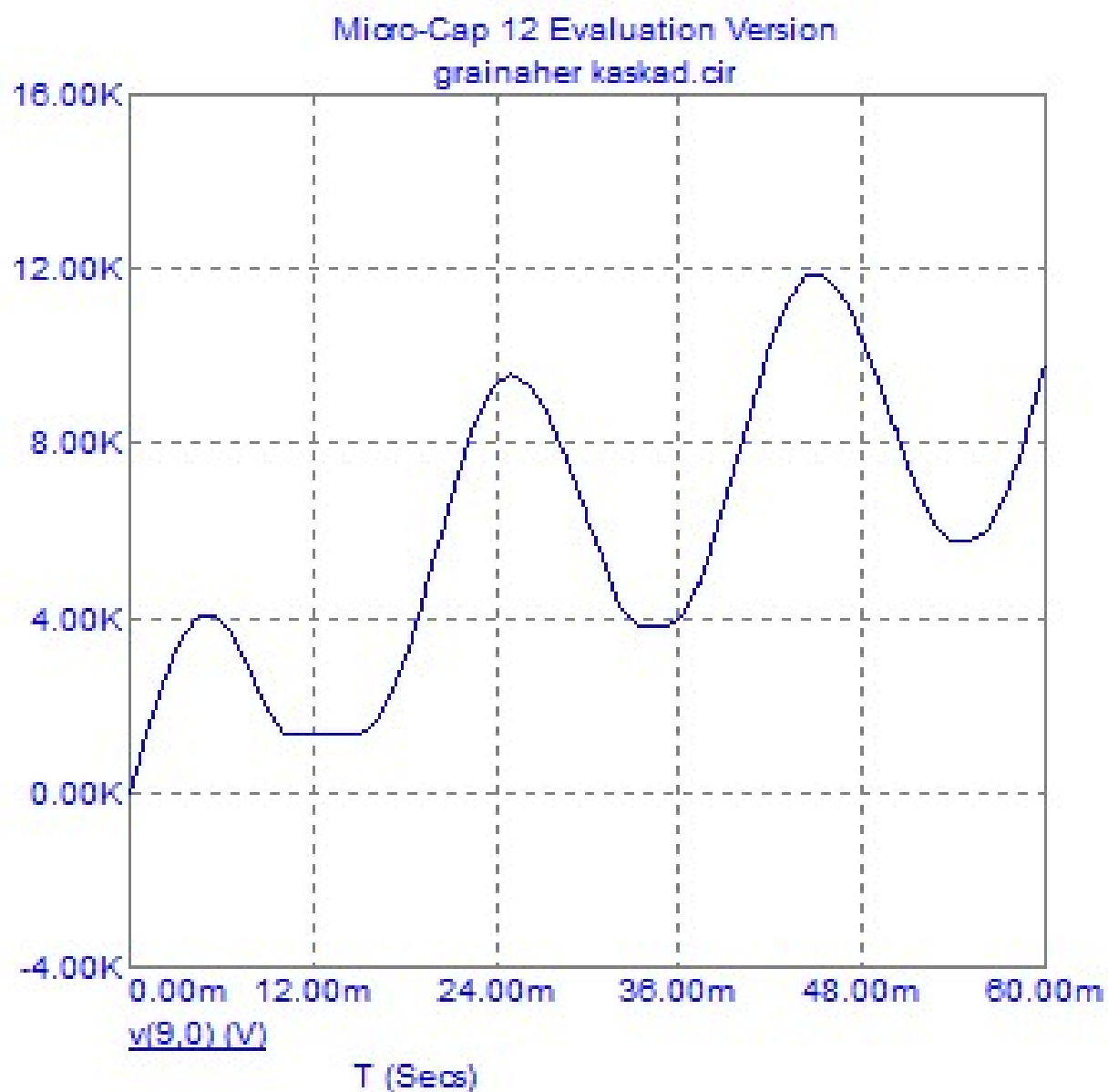


Рис. 2.6.7. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_5) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

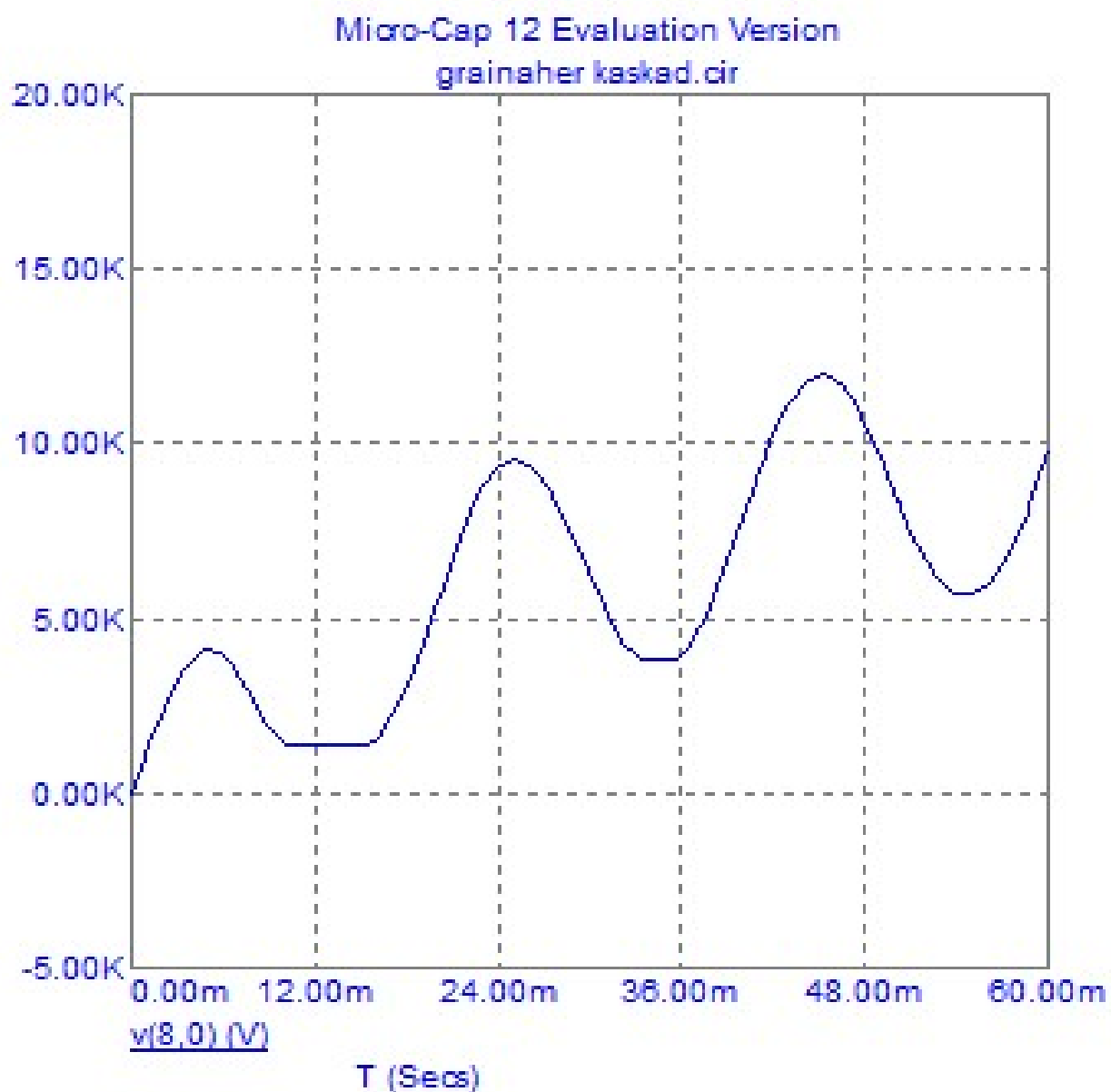


Рис. 2.6.8. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера (напруга U_c) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

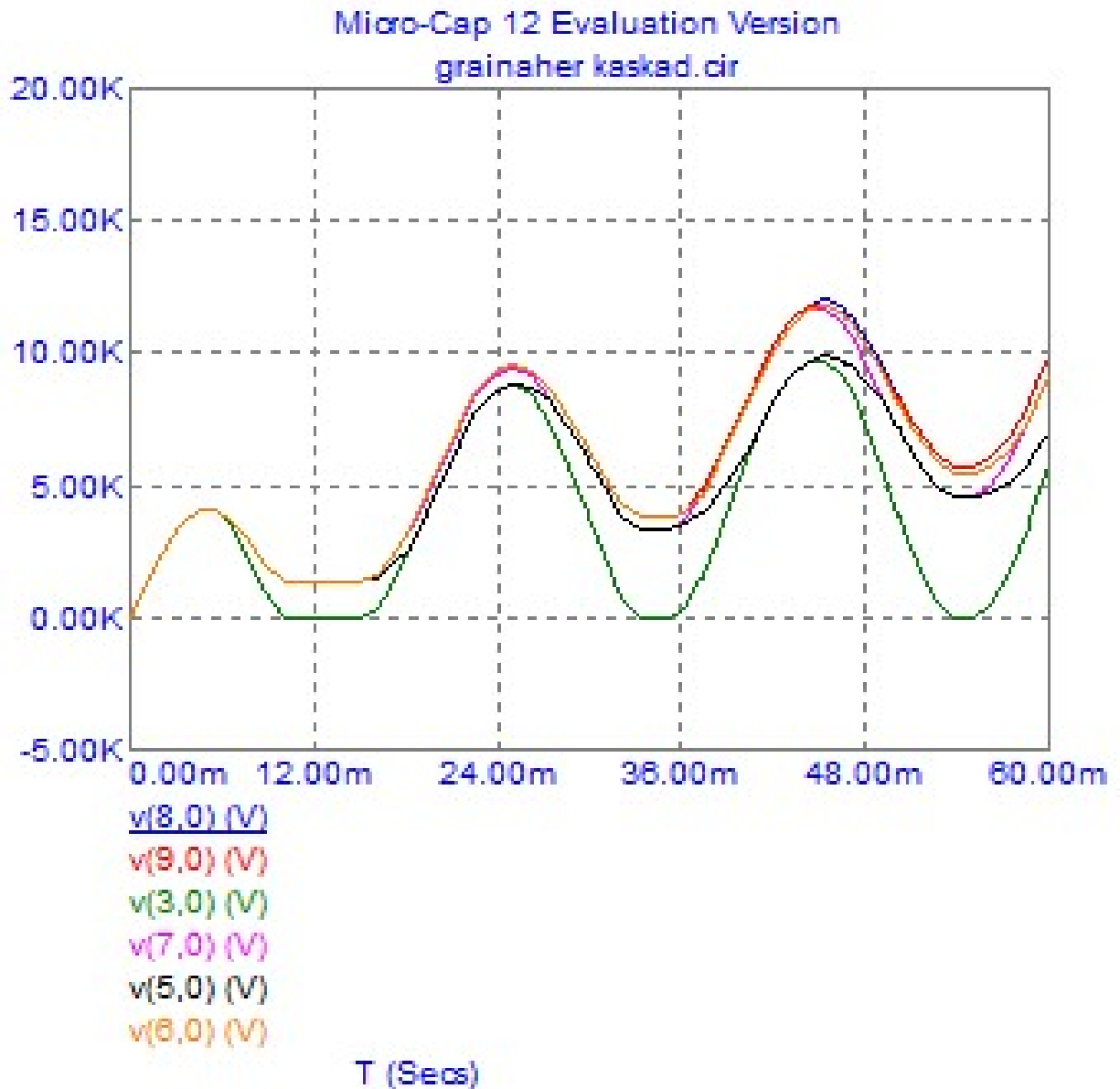


Рис. 2.6.9. Отримана порівняльна осцилограма напруг у вузлах каскадної схеми Грайнахера у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Як видно на порівняльній осцилограмі (Рис. 2.6.9) напруги у вузлах першого каскаду (позначено зеленим та чорним кольорами) значно нижчі ніж в останніх вузлах каскаду (червоний та синій кольори), а також було досягнуто зменшення амплітуди зміни напруг, що дає змогу підтвердити працездатність даної каскадної схеми змодельованої мною в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

Також на завершення даного експерименту змодельовано попередню схему для випадку навантажувального режиму. На осцилограмах отимаємо напруги на вході та виході схеми відповідно, а також напруги у кожному з вузлів схеми.

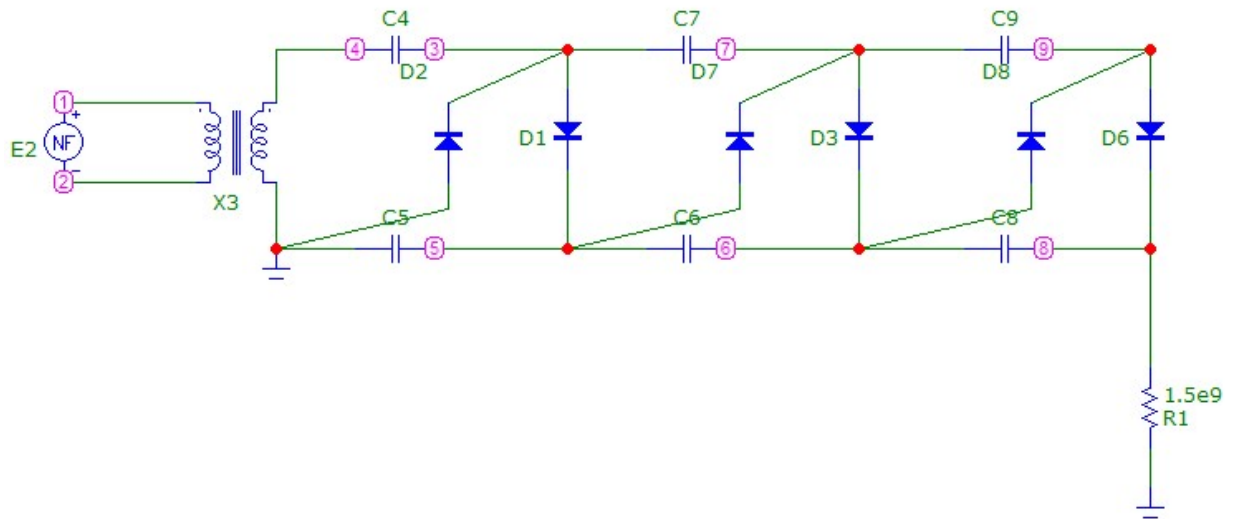


Рис. 2.6.10. Змодельована каскадна схема Грайнахера при навантажувальному режимі в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

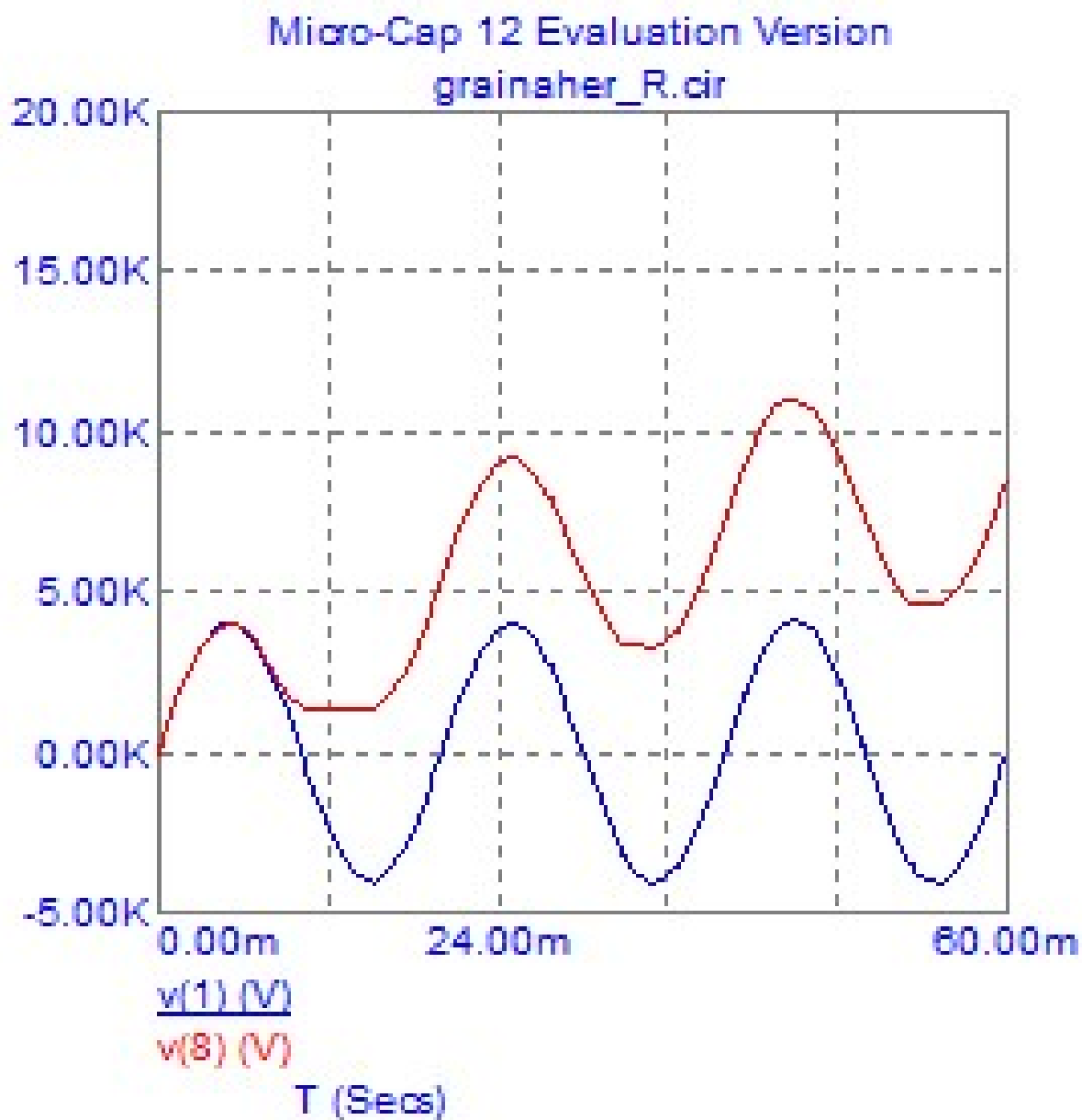


Рис. 2.6.11. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

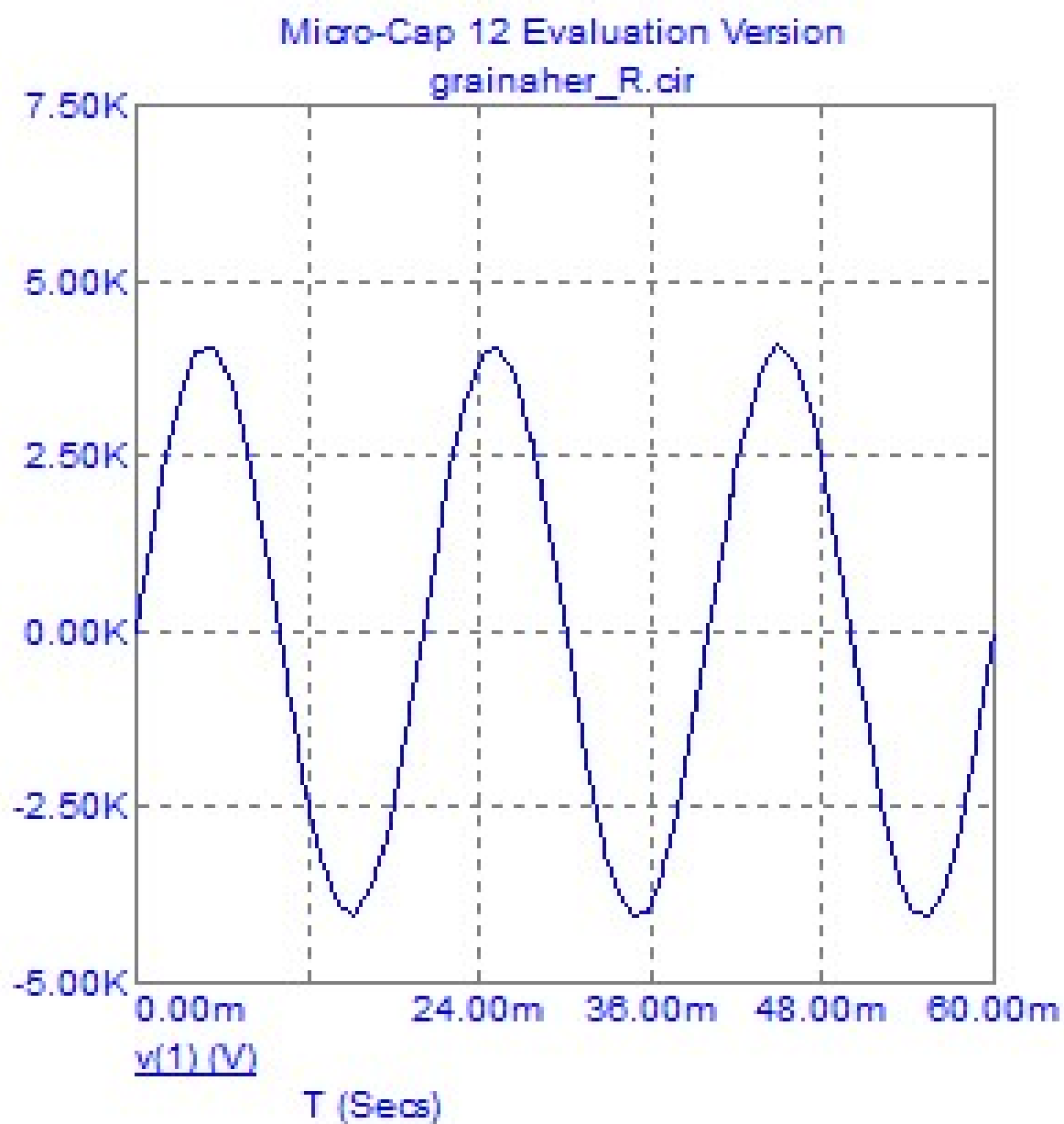


Рис. 2.6.12. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_1) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

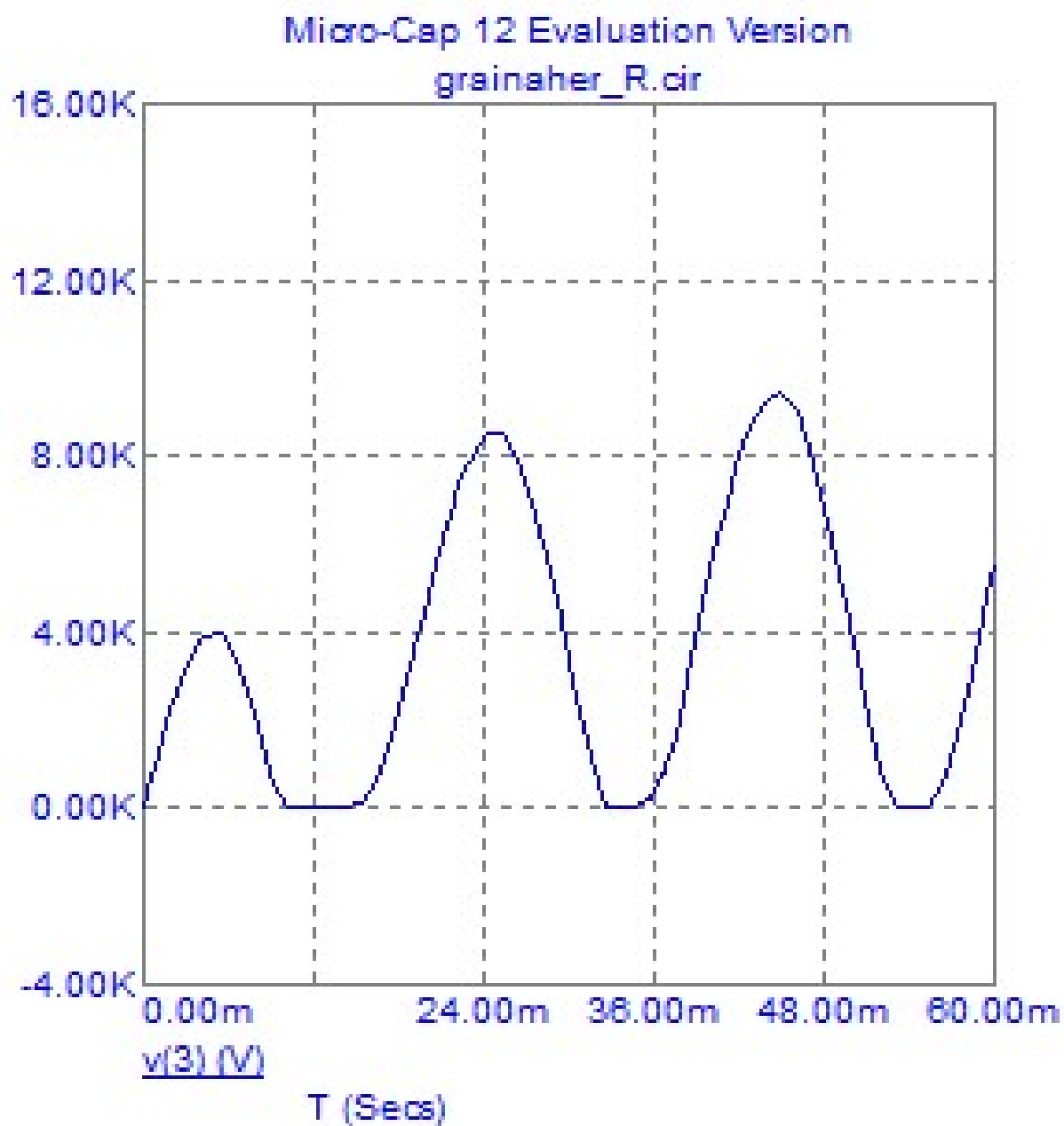


Рис. 2.6.13. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_2) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

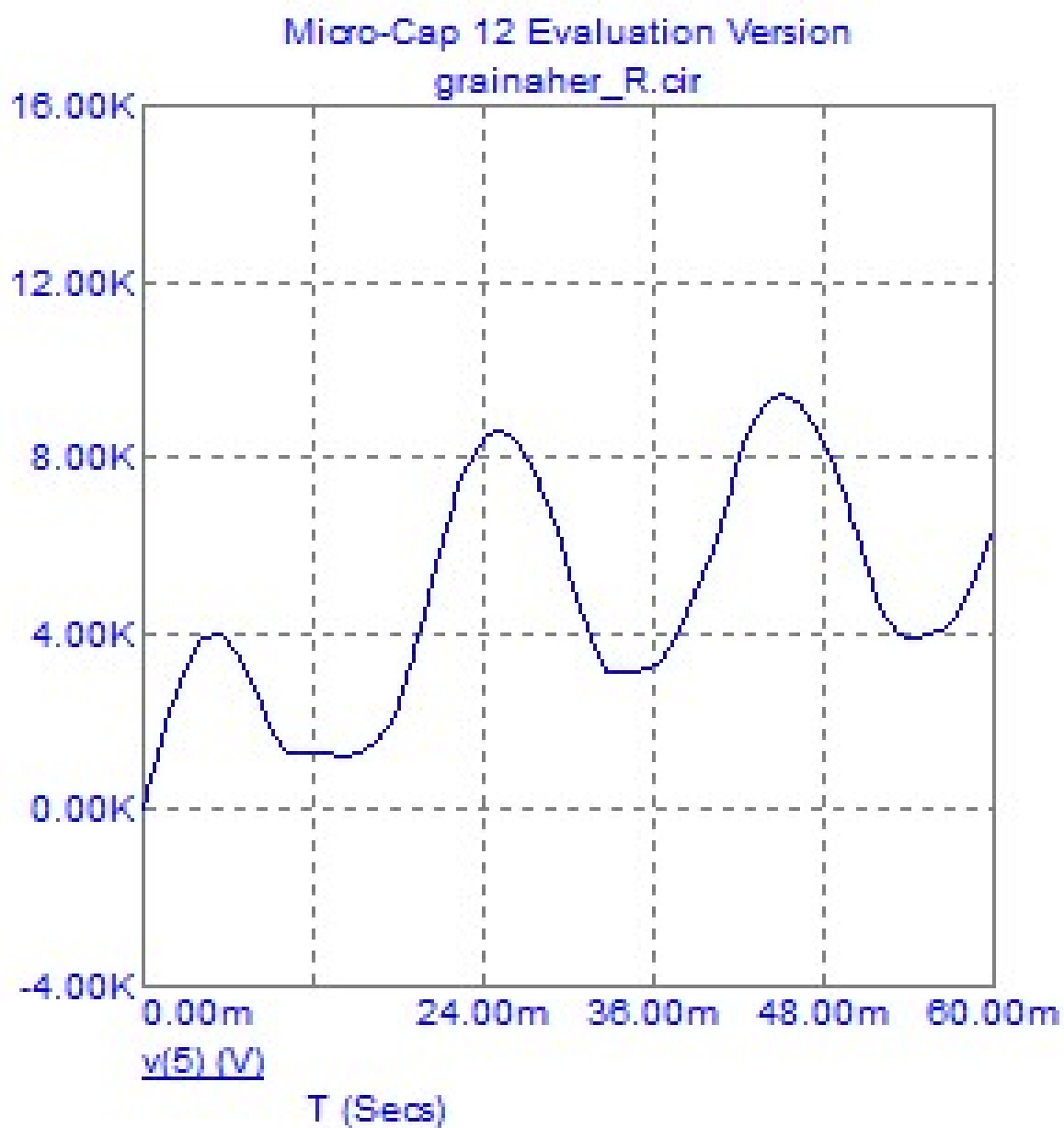


Рис. 2.6.14. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_3) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

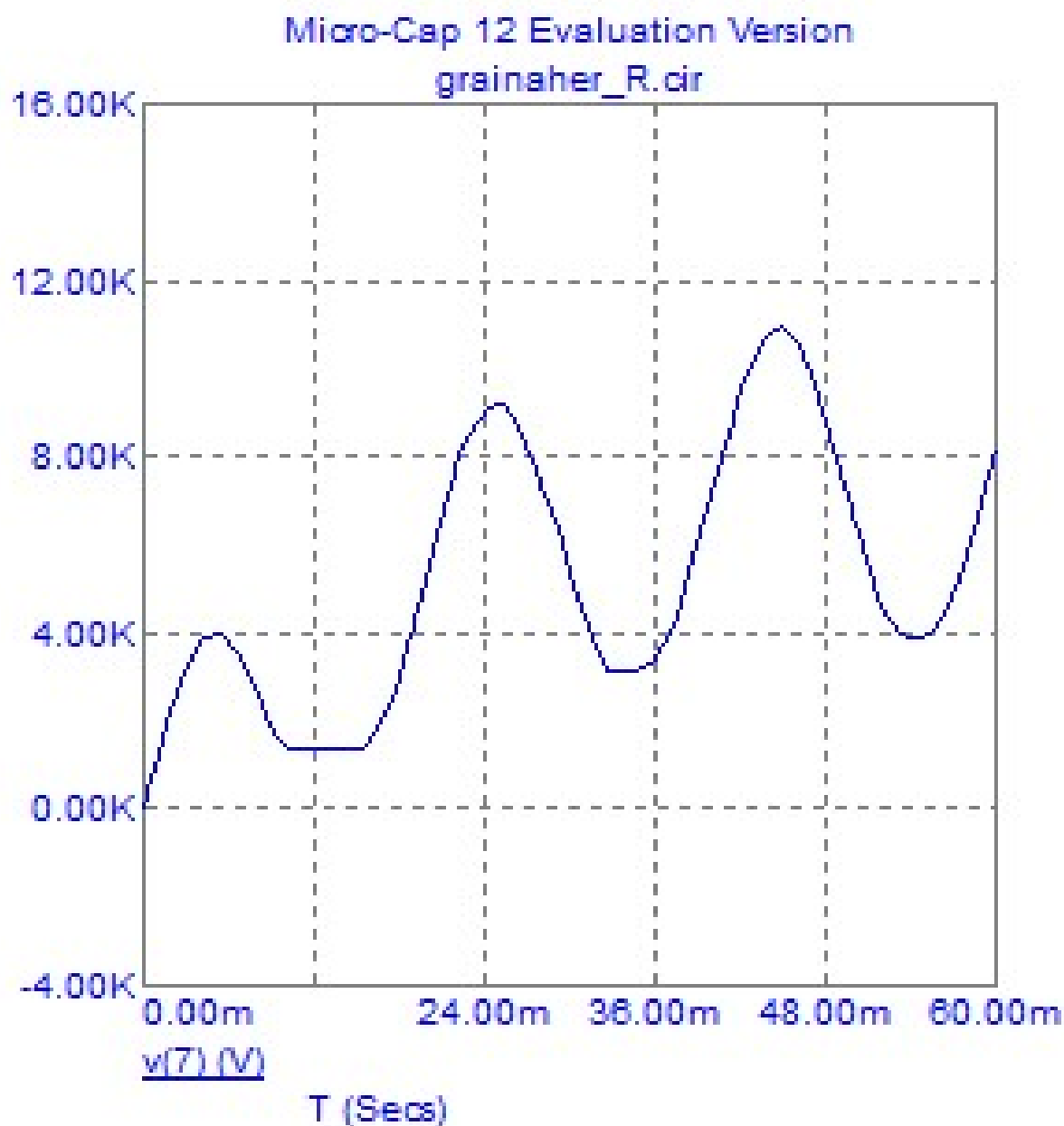


Рис. 2.6.15. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_4) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

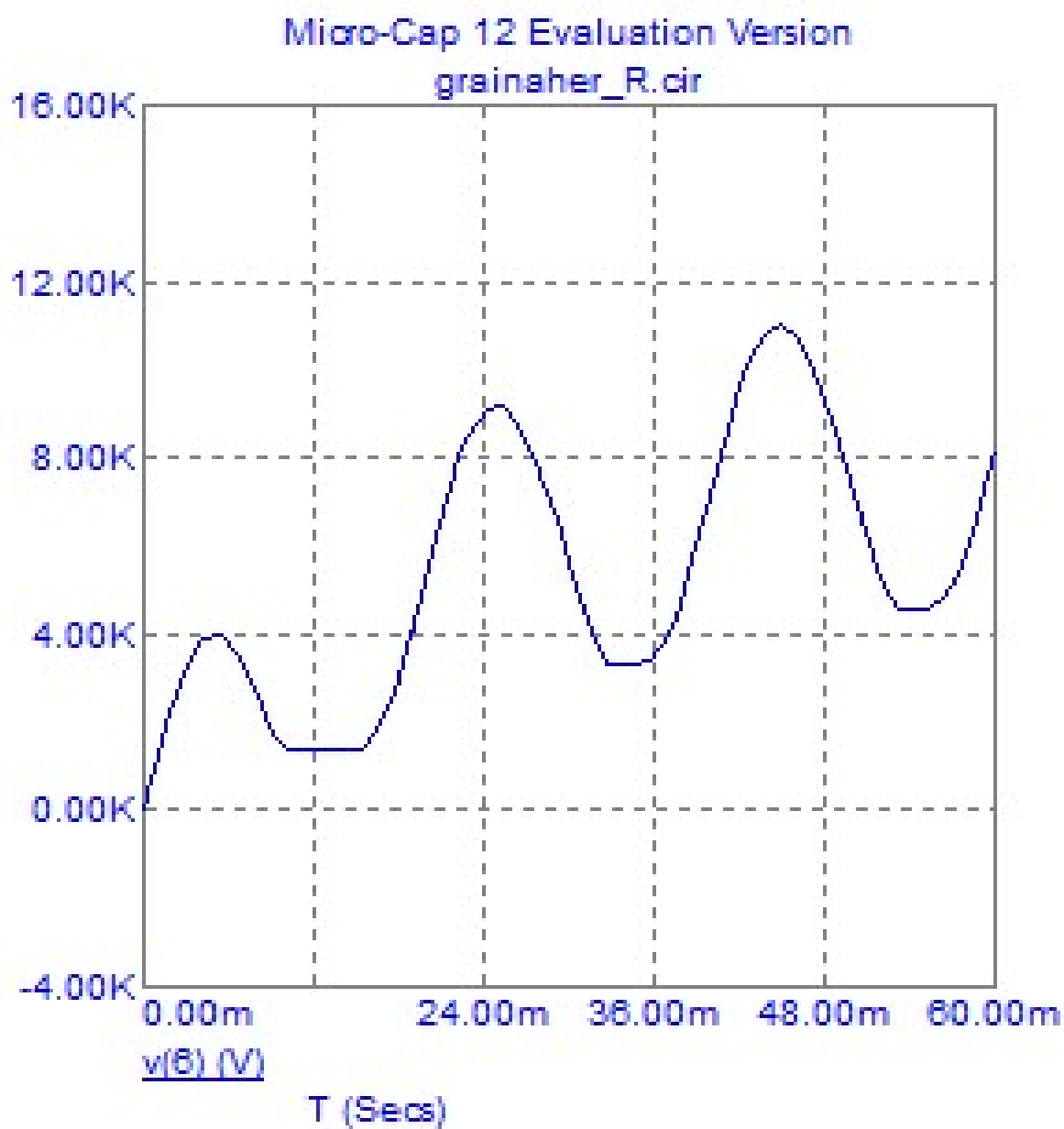


Рис. 2.6.16. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_5) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

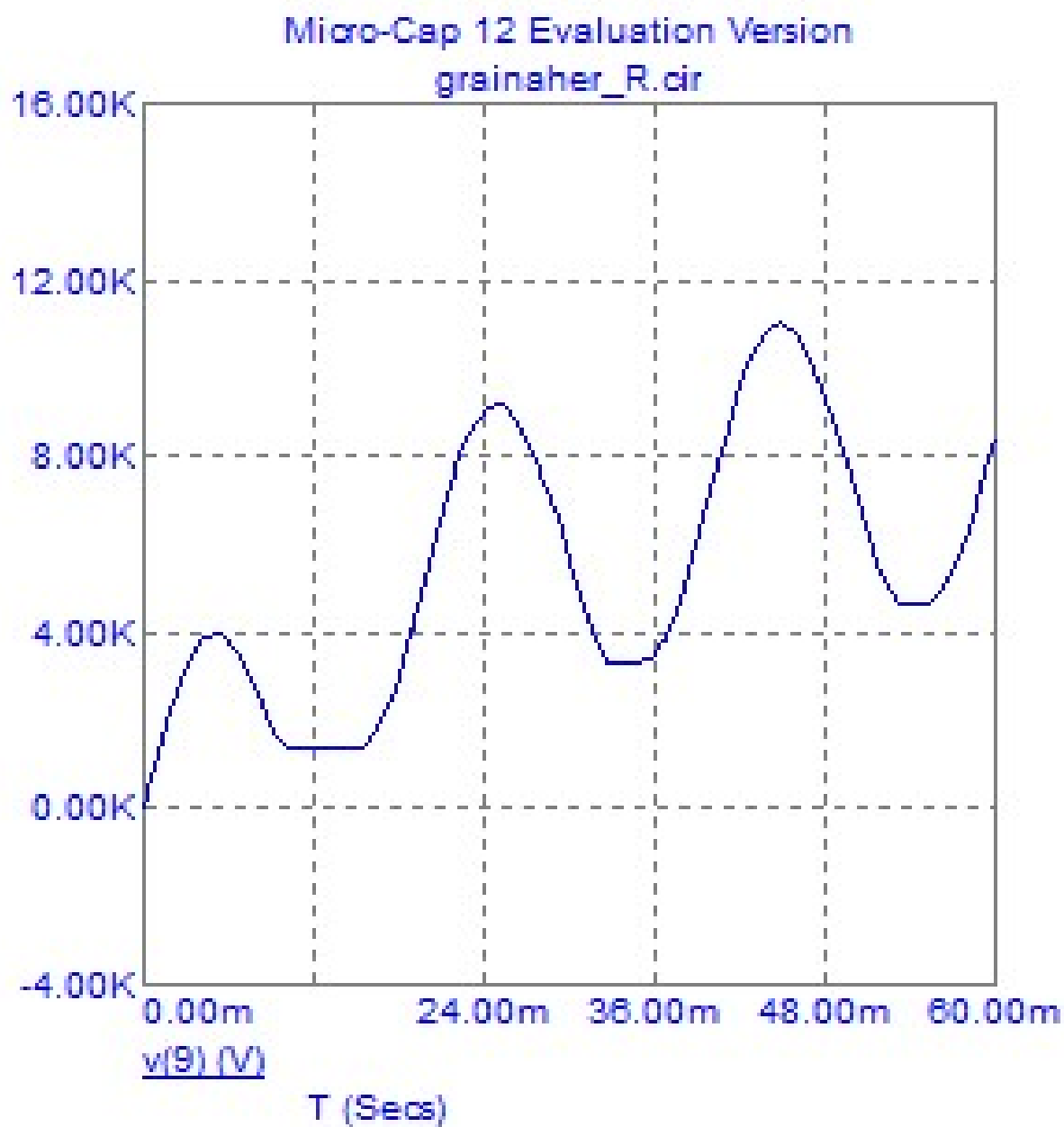


Рис. 2.6.17. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_6) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

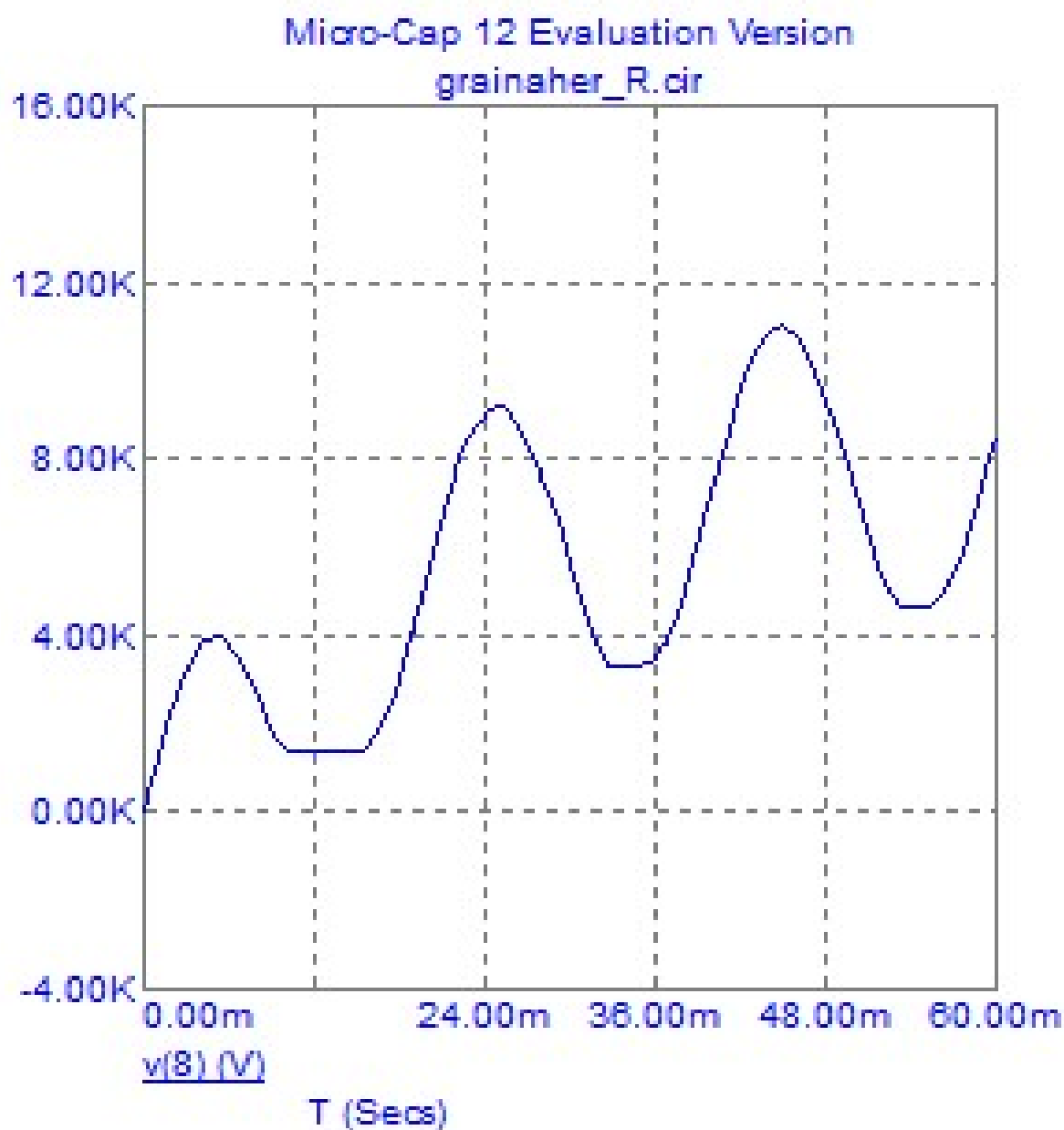


Рис. 2.6.18. Отримана осцилограма каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі (напруга U_7) у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

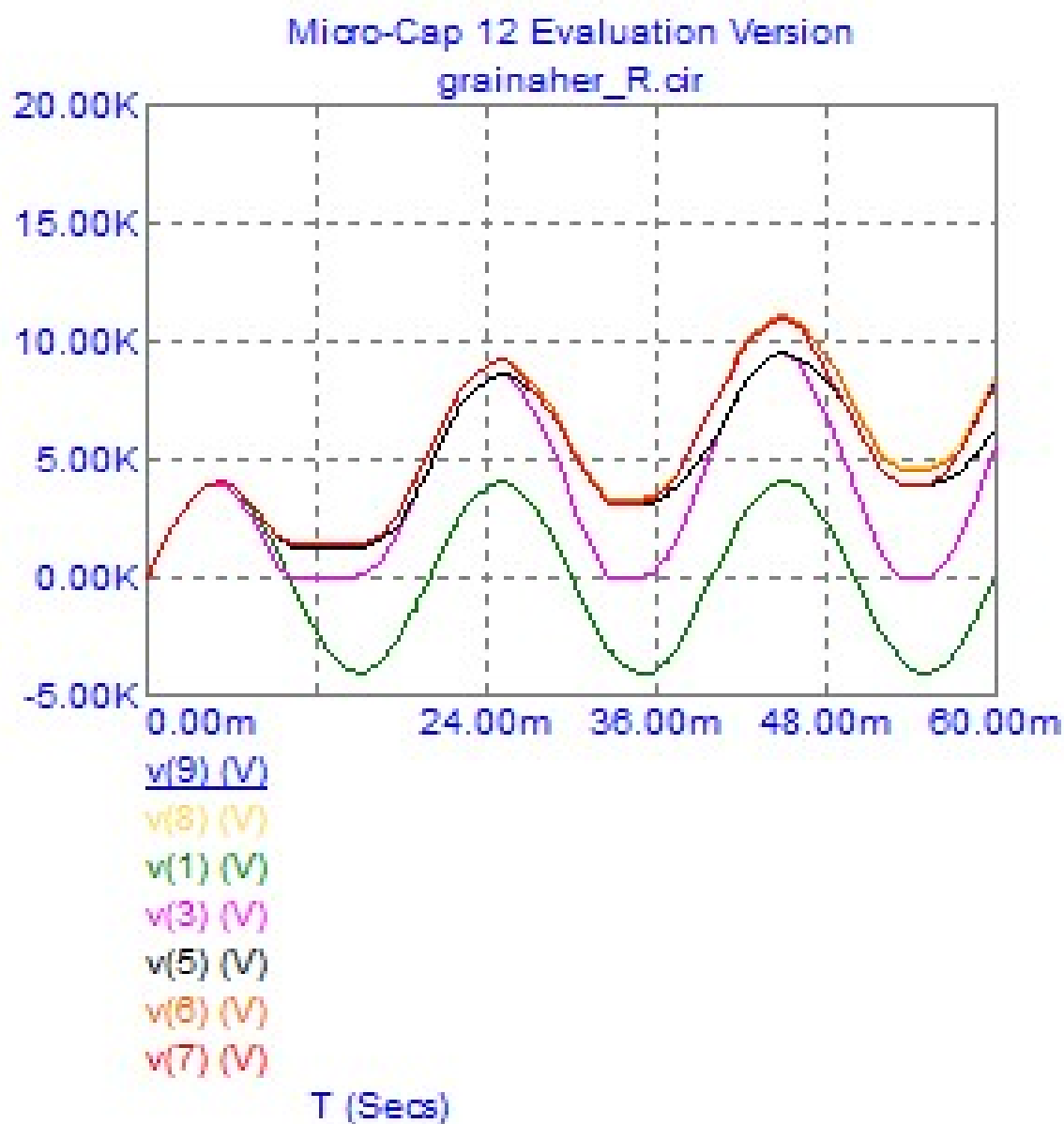


Рис. 2.6.19. Отримана порівняльна осцилограма напруг у вузлах каскадної схеми Грайнахера при навантажувальному режимі у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

2.7. Висновки по розділу 2

В даному розділі мною було змодельовано схеми подвоєння, потроєння, множення та випрямлення напруги в середовищі Micro-Cap 12 Evaluation. З цими моделями було проведено ряд експериментів спрямованих на дослідження параметрів напруги в різних точках схеми (як правило на вході та на виході схеми) але іноді і в інших вузлах схеми, як наприклад в каскадній схемі Грейнахера. Дослідження проведені мною доводять працездатність даних схем з сучасними комплектуючими. В схемах подвоєння напруги графіки напруги показують стабільне подвоєння напруги аналогічно зі схемами потроєння. Що стосується каскадних схем множення, то порівняльні схеми показують багатократне множення вихідної напруги, що дає змогу стверджувати що зі збільшенням кількості каскадів напруга буде зростати і таким чином її можливо регулювати. Також зміна ємностей в конденсаторах змінює коефіцієнт трансформації що також впливає на ступінь множення напруги.

3. МОДЕЛЮВАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПУЛЬСАЦІЙ НАПРУГИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧАСТКОВИХ РОЗРЯДІВ

3.1. Відомості про часткові розряди.

Розробка потужних електричних компонентів та обладнання, ще більш компактних конструкцій завжди передбачають поліпшення властивостей ізоляційних систем, особливо у галузі електричної, термічної, хімічної та механічної ізоляції, що використовуються в електричних компонентах та обладнанні. Вони бувають різних форм і може бути твердим, рідким або газоподібним залежно від типу та функціональних потреб і особливостей пристрою. Тверді ізоляційні матеріали включають в себе органічні та неорганічні матеріали, а також пластикові матеріали (наприклад, полімери). Мінеральні наповнені та армовані скловолокном пластмаси класифікуються як сполучні або композитні матеріали і виготовляються з двох або більше складових матеріалів: матриксоутворюючі органічні полімери та неорганічні наповнювачі або армуючі матеріали. Вимоги до енергоефективності для електрообладнання та регулювання швидкості електроприводів все більше вимагає використання джерел живлення, перемиків та перетворювачів частот. Одна з причин пошкодження перевищенням напруги є суперпозиція хвилі відбитої напруги з напруги живлення через різницю імпедансу кабелю та машини. Робоча напруга квадратної хвилі з високим рівнем комутації створює високі пікові рівні і круті висхідні краї (du / dt), які разом можуть викликати часткові розряди і прискорене старіння систем ізоляції. Вимірювання та діагностика часткових розрядів також відіграє все більш важливу роль у рутинному та типовому тестуванні, а також при оцінці терміну експлуатації систем ізоляції при моніторингу якості продукції протягом періоду виробництва. Високі вимоги до систем твердої ізоляції для компактних електронних та електричних компонентів або обладнання для експлуатації на більш високих частотах комутації напівпровідників (IGBT, карбід кремнію (SiC) або Нітрид галію (GaN) потужність MOSFET)

вимагають використання ізоляційних матеріалів або композитних матеріалів, які є стійкі до часткових розрядів. Особливо це стосується електричних компонентів, що необхідні для приводів поїздів, електромобілів або енерготехнологій, наприклад, сонячних електростанцій та вітрових електростанцій.

Часткові розряди поділяються на дві основні групи:

1) Зовнішні та поверхневі часткові розряди:

Зовнішні і поверхневі розряди включають корону, світіння і розсвні розряди, Безбарвні часткові розряди, імпульсні розряди електродів з досить високим радіусом кривизни як в газах, так і на поверхні твердих діелектриків. Хоча зовнішні часткові розряди можуть виникати і в системах ізоляції низьких напруг, проте вони досить рідкісні.

2) Внутрішні часткові розряди:

Внутрішні часткові розряди - це розряди у твердих та / або рідких діелектриках. У більшості випадків система ізоляції електричних пристроїв складаються з декількох діелектричних речовин. Тому необхідно збільшувати міцність поля в ізоляційному матеріалі з низькою діелектричною проникністю.

Часткові розряди, що виникають в електрообладнанні, зазвичай є комбінацією різних видів розрядів.

Вимірювання характеристик часткового розряду являється головним методом неруйнівного контролю і оцінки стану ізоляції високовольтного спорядження. Діагностика стану ізоляції методом вимірювання часткових розрядів вимагає використання спеціальної техніки. Наразі використовуються різноманітні системи для вимірювання характеристик і трекінгу ділянки часткового розряду в ізоляції високовольтного обладнання. Для візуального відображення результатів вимірювань, можуть

використовуватися або аналогові або цифрові осцилографи, або осцилограф, який програмно втілюється на зовнішній персональний комп'ютер. USB-порт може бути використаний для підключення до детектора часткового розряду зовнішнього персонального комп'ютера. Дане питання є вкрай важливим для навчання студентів та науковців в усьому світі котрі мають справу з областю діагностики ізоляції електрообладнання. У той же час не всі лабораторії високих напруг мають випробувальне устаткування для вивчення часткових розрядів. Тому використання програм схемо технічного моделювання дає змогу провести майже будь-який експеримент або дослідження не виходячи з дому або аудиторії і не затрачаючи численні кошти, сили а також дорогоцінний час на збірку реальних прототипів обладнання.

3.2. Досягнення кафедри ТЕВН КПІ ім. Ігоря Сікорського у моделюванні часткових розрядів на змінному струмі.

Часткові розряди в ізоляції електрообладнання високої напруги поступово призводять до погіршення ізоляційних властивостей, її фізичного зношення і, в кінцевому підсумку, до руйнування. Крім того, часткові розряди можуть призвести до перекриття ізоляції. Наприклад, розряди в одному ізоляторі можуть призвести до пробою цілого каскаду ізоляторів.

Відповідно до ГОСТ 20074, частковий розряд є електричний розряд, який шунтує частину ізоляції між електродами, розташованими на різних потенціалах. На практиці, часткові розряди – це локальні електричні розриви в ослаблених проміжках твердої ізоляції, таких як газові порожнини (або порожнини рідкого діелектрика у твердій ізоляції).

Наявність часткових розрядів у високовольтному електричному обладнанні вказує на внутрішні дефекти його ізоляції. Тому, згідно з діючими стандартами, електричне обладнання випробовується на їх наявність.

При змінній напрузі різних частот, часткові розряди вимірюються затуханням змінної напруги та напруги постійного струму.

Проблема гармонічних струмів та напруг завжди актуальна для електричних мереж. Несинусоїдальні режими в електричних мережах призводять до ряду негативних наслідків, в тому числі зниження ефективності ізоляції та її повного зношення. Довгострокова експлуатація кабелю та витрати на обслуговування лінії електропередач, трансформаторів, генераторів, комутаційних пристроїв та іншого обладнання залежить від надійної роботи електричної ізоляції. Під час роботи на ізоляцію впливають робоча напруга та перенапруги. З часом, ізоляційні характеристики погіршуються, знижується опір ізоляції, в той же час тангенс діелектричних втрат збільшується. У зношених районах ізоляції, відбуваються часткові розряди. Це одна з причин, котрі спричиняють прискорення старіння ізоляції. Струм і

гармоніки напруги призводять до додаткових втрат на нагрівання та призводять до прискореного старіння діелектричного матеріалу. Поява часткових розрядів в ізоляції електричного обладнання свідчить про внутрішні недоліки цього обладнання. Тому почали вимірювати характеристики часткових розрядів при діагностці стану високовольтного обладнання. Вивчення впливу гармонік напруги на характеристики часткового розряду показали, що під несинусоїдальною напругою (з сумарним гармонічним спотворенням від 10% і вище) інтенсивність часткових розрядів зростає.

Допустимі значення загальної гармоніки спотворення встановлюються стандартами, відповідно до ГОСТ 13109, ІЕС 61000-4-7. Ці значення відрізняються за різними номінальними напругами.

Об'єктами дослідження є часткові процеси розвантаження що імітуються під впливом несинусоїдальної напруги. Моделюється ємнісна еквівалентна схема для діелектрика з газовою порожниною. Відповідно до ГОСТ 13109, несинусоїдальна напруга характеризується наступними двома факторами. Перша – це загальне гармонійне спотворення, яке дається формулою (1). Друга - індивідуальний гармонійний компонент, який дається формулою (2).

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_n^2}}{U_1} \quad (1)$$

$$U_n(\%) = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

де U_n - коефіцієнт середньоквадратичного компонента гармоніки напруги порядку n , (V); n - порядок гармонічної складової напруги; N - порядок максимальної гармоніки напруги компонента що враховується; U_1 - гармоніка першого порядку, (V).

Відповідно до ГОСТ 13109 або МЭК 61000-4-7 передбачається що $N = 40$, але в ряді публікацій його обмежують до $N = 25$ (DSTU EN 50160), оскільки існують аналізатори котрі можуть вимірювати гармоніки лише до 25-ї щоб

розрахувати загальне гармонічне спотворення. У зв'язку з цим в даній роботі прийнято $N = 30$.

Допустима величина гармонічної компоненти напруги порядку n для електричних мереж різних номінальних напруг наведені в ГОСТ 13109.

При вивченні впливу гармонік напруги за часткових розрядів, загальне гармонічне спотворення може використовуватися лише для грубої оцінки. Причина в тому, що до загального гармонійного спотворення не враховують фазові кути окремих гармонічних компонентів напруги.

Метою дослідження є аналіз залежності частоти повторення імпульсу часткових розрядів у ізоляції що піддається гармоніці першого порядку разом з гармонікою напруги з 2 по 30 порядок за допомогою програми схемотехнічного моделювання Micro-Cap 12 Evaluation. Частота повторення імпульсу часткових розрядів – це кількість імпульсів часткового розряду протягом певного періоду помножена на частоту. Для досягнення цієї мети було сформульовано наступні завдання:

1. Вибір діелектричної моделі з газовою порожниною з частковим розрядом і обчисленням числа часткових розрядів протягом періоду під впливом чистої синусоїдальної напруги частотою 50 Гц.
2. Обчислення кількості розрядів що піддаються гармоніці першого порядку разом з гармоніками напруги з 2 по 30 порядку.
3. Експериментальна оцінка можливості використання характеристик Індуктивних трансформаторів напруги для вимірювання показників якості енергії, включаючи несинусоїдальну напругу.
4. Формулювання рекомендацій та висновків відповідно до практичних вимірів спотворень напруги в високовольтній мережі.

Для реєстрації характеристик часткових розрядів використовується спеціальне обладнання з програмним забезпеченням для обробки результатів вимірювань з деякою стаціонарною змінною напругою. Залежно від стану ізоляції, інтенсивність часткових розрядів може бути незначною при змінній напрузі, тоді як при імпульсних напругах їх інтенсивність повинна сильно збільшуватись

Слід зазначити, що, згідно з ГОСТ 1516.2, застосування імпульсної випробувальної напруги не обов'язково призводить до руйнування ізоляції. Може бути випадок розряду в певній частині ізоляції і тому буде пошкоджено лише певну частину ізоляції. Дуже важко виявити таке пошкодження, але це можливо зробити при збільшенні інтенсивності розрядів та їх відповідній реєстрації. Використання існуючих технічних засобів для вимірювання характеристики часткових розрядів при змінній напрузі не є прийнятним для вирішення поставленої задачі. Тому попередньо необхідно провести комп'ютерне моделювання часткових розрядів при застосуванні імпульсної напруги.

Для досягнення поставлених цілей побудуємо ємнісну еквівалентну схему діелектрика з газовою порожниною в середовищі програми електротехнічного моделювання Micro-Cap 12 Evaluation.

Схеми для визначення форми часткових розрядів у газовій порожнині піддають різним напругам показаним на наступних нижче приведених рисунках. Ці схеми відповідають традиційним схемам для дослідження часткового розряду.

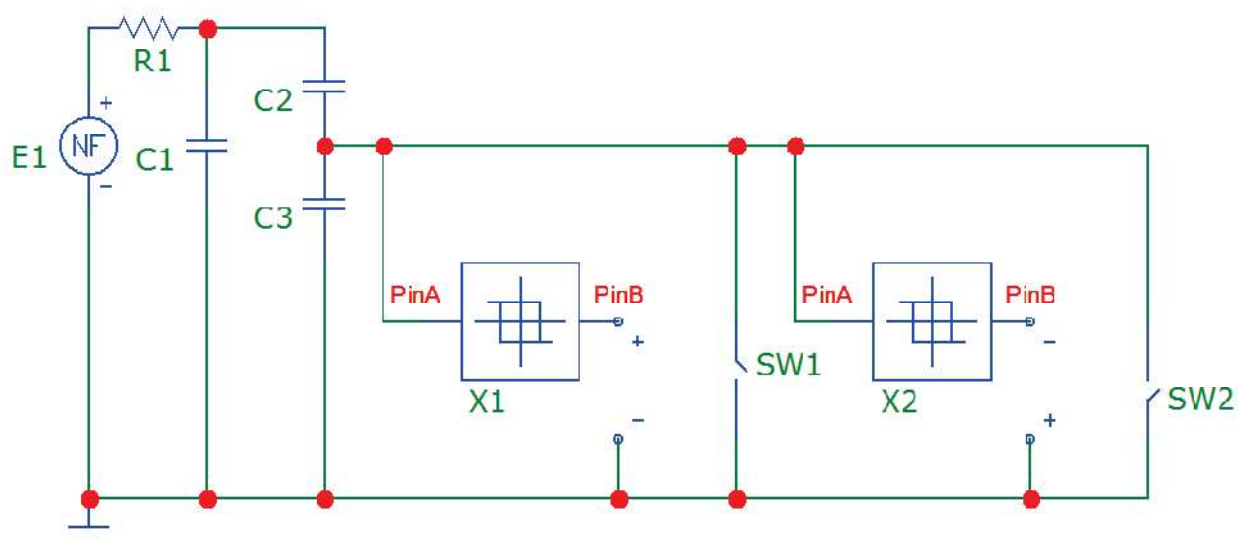


Рис. 3.2.1. Тригер Шмітта та перемикач, керований напругою.

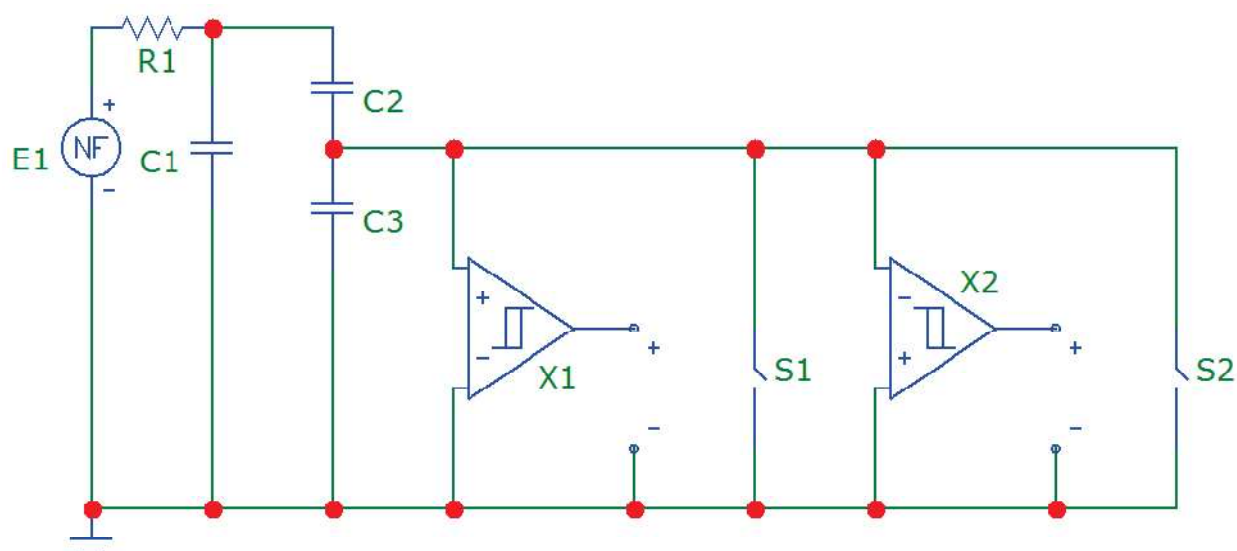


Рис. 3.2.2. Компаратор напруги з гістерезисом і регулятор напруги з гістерезисом.

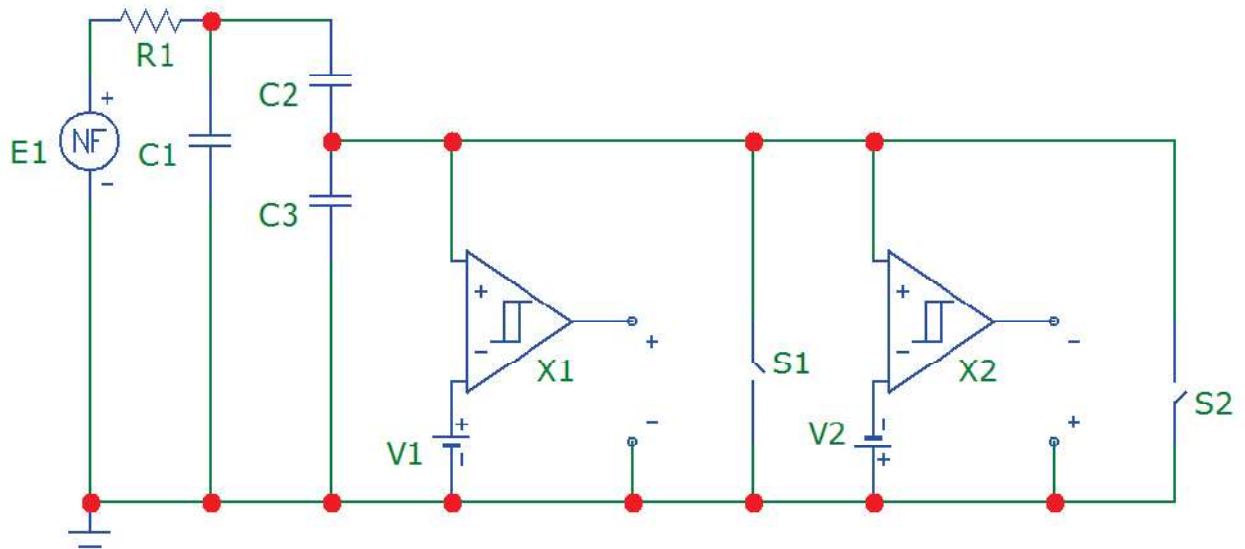


Рис. 3.2.3. Джерело опорної напруги.

На рисунках зображено:

E1 - функціональне джерело напруги;

R1 - внутрішній опір джерела напруги;

C1 – ємність діелектрика, без секції газової порожнини;

C2 - ємність секції діелектрика, з'єднана послідовно з газовою порожниною;

C3 - ємність порожнини газу.

Решта елементів імітує іскровий проміжок, імітуючи розряд в газовій порожнині. Ці елементи перераховані нижче.

На Рис. 3.2.2 та Рис. 3.2.3:

X1, X2 – компаратори напруги з гістерезисом;

S1,S2 - керовані напругою вимикачі з гістерезисом.

На Рис. 3.2.3:

V_1 , V_2 – додаткові джерела напруги.

Передбачається, що опір перемикачів SW_1 , SW_2 , S_1 і S_2 в розімкненому стані становитиме 100 МОм, а в замкненому стані - 1 Ом. Внутрішній опір джерела напруги становить 1 Ом. Схеми на показують різні варіанти ланцюгові симуляції пробою.

В даний час існують різні методи виявлення часткових розрядів в різних типах електрообладнання котрі було розроблено. Через високу чутливість методів та можливостей комплексного вивчення характеристик часткового розряду, електричні методи для виявлення часткових розрядів набули широкого поширення. Структура електричної схеми для вимірювання характеристик часткових розрядів може відрізнятися залежно від мети вимірювання та типу моніторингу стану ізоляції. Практично всі сучасні вимірювальні системи використовують два основних типи схеми виявлення часткових розрядів: прямий і збалансований.

На кафедрі для дослідження було обрано пряму схему детектування, так як вона була простіша в реалізації. Наразі тривимірні еквівалентні схеми широко використовуються для вивчення часткових розрядів в діелектрику з газовою порожниною під впливом різних форм напруги. Одне з останніх вдосконалень схеми являється паралельним з'єднанням декількох три-емністних еквівалентних схем для вивчення часткового розряду в проміжку з рівномірним полем. Імітації еквівалентної схеми для діелектрика з газовою порожниною з частковими розрядами було виконано в програмі електротехнічного моделювання «Micro-Cap 11 Evaluation». Відмінною рисою цієї роботи є те, що автори порівнювали результати комплексного фізичного моделювання з результатами моделювання парціального розряду.

Для досягнення поставлених цілей було застосовано такі методи дослідження: фізичне моделювання, електричний метод виявлення часткових

розрядів із застосуванням високої напруги, симуляція схеми на персональному комп'ютері. Головним матеріалом дослідження є результати, отримані на експериментальному стенді для вимірювання часткового розряду .

Розглянуті вище схеми будуть використані як базові в даній роботі для подальшого моделювання і дослідження впливу пульсацій напруги на характеристики часткових розрядів.

3.3. Моделювання часткових розрядів в схемі однопівперіодного випрямлення.

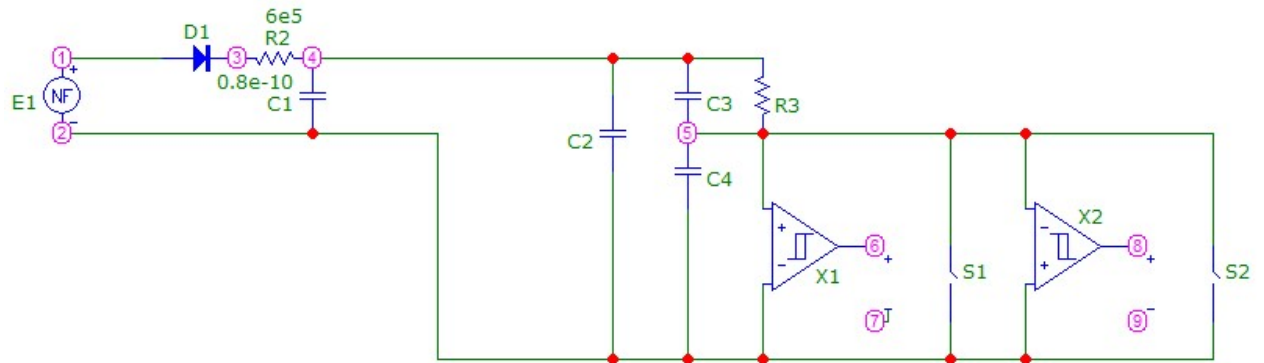


Рис. 3.3.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у однопівперіодному випрямлячі в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

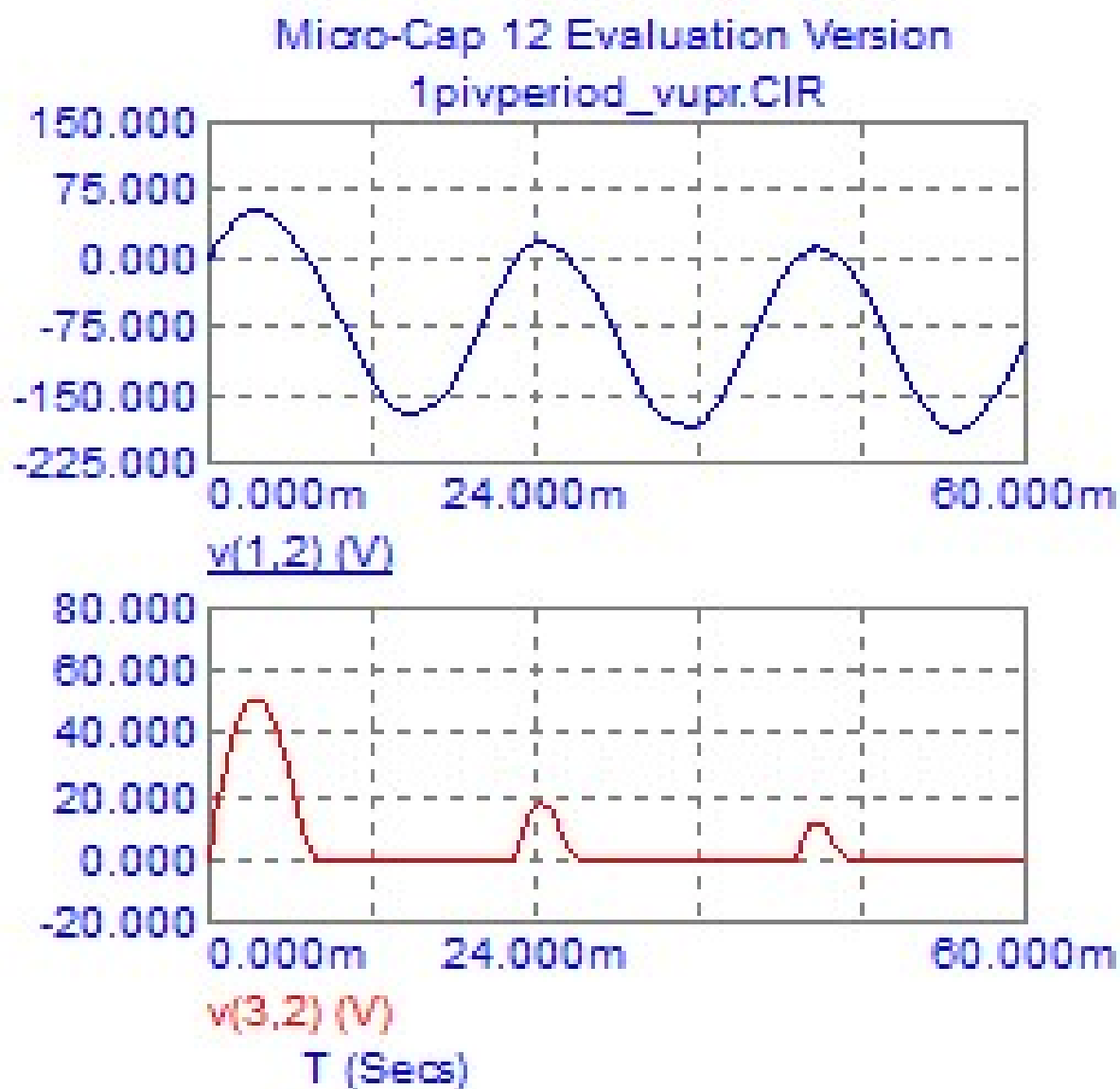


Рис. 3.3.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у однопівперіодному випрямлячі в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.4. Моделювання часткових розрядів в схемі двопівперіодного випрямлення.

Змодельуємо схеми для дослідження часткових розрядів у двопівперіодному випрямлячі використовуючи аналогічні змодельованим у попередньому розділі.

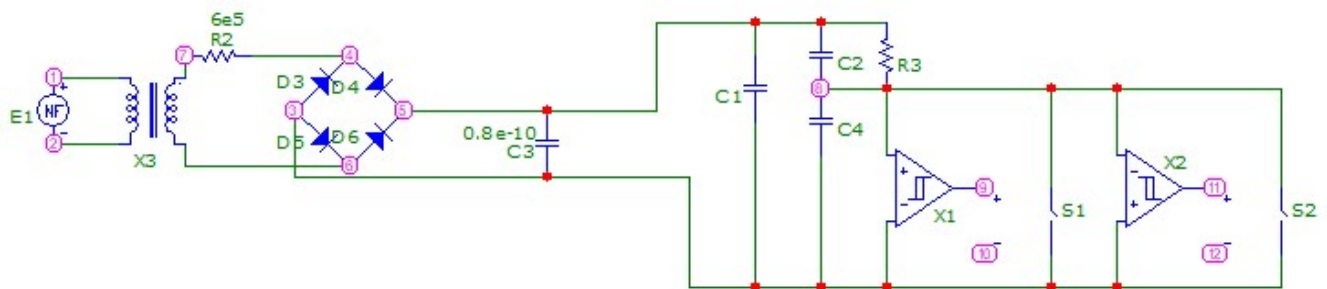


Рис. 3.4.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у двопівперіодному випрямлячі (схеми Гретца) в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

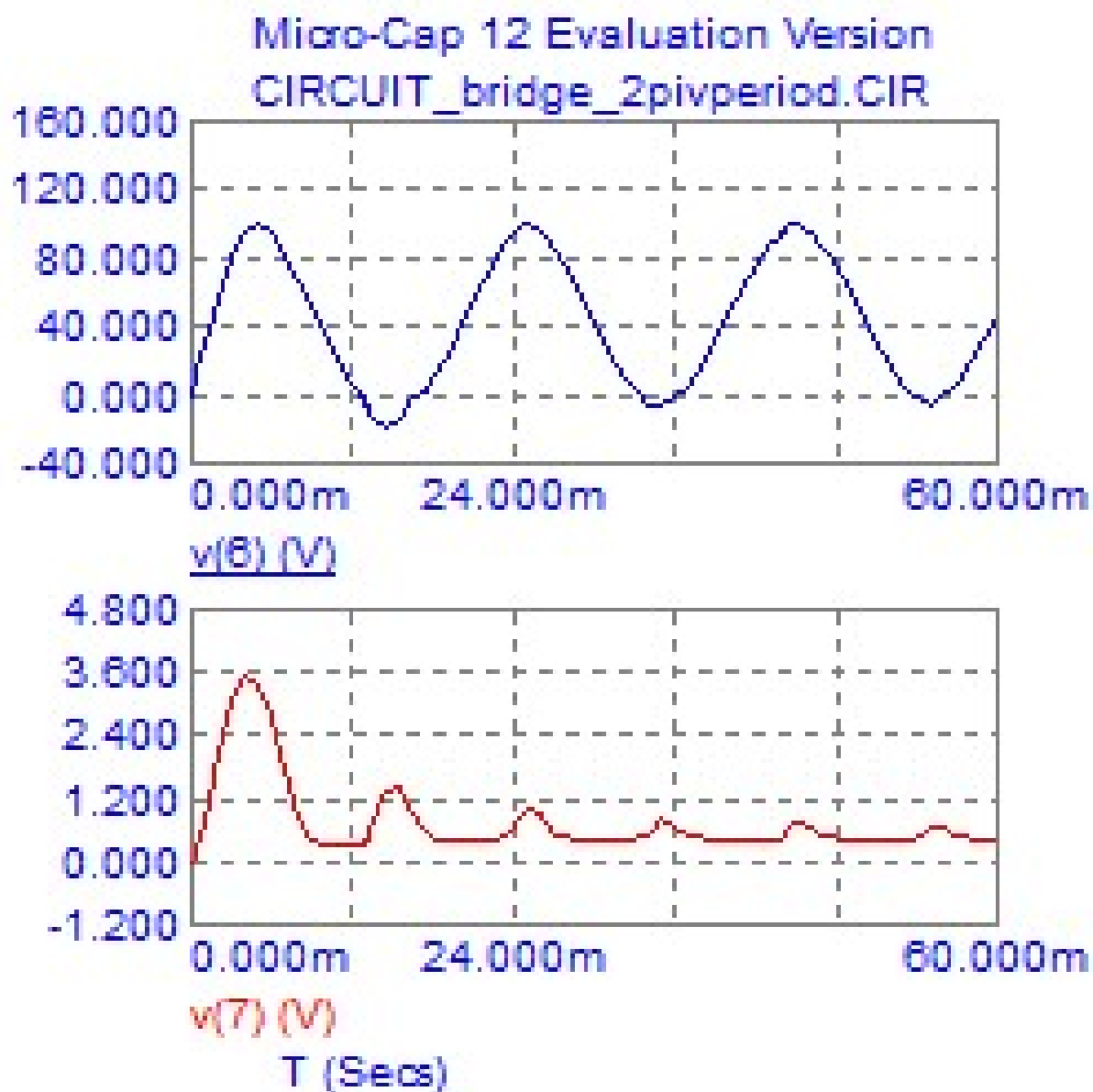


Рис. 3.4.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у дівопівперіодному випрямлячі (схеми Гретца) в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

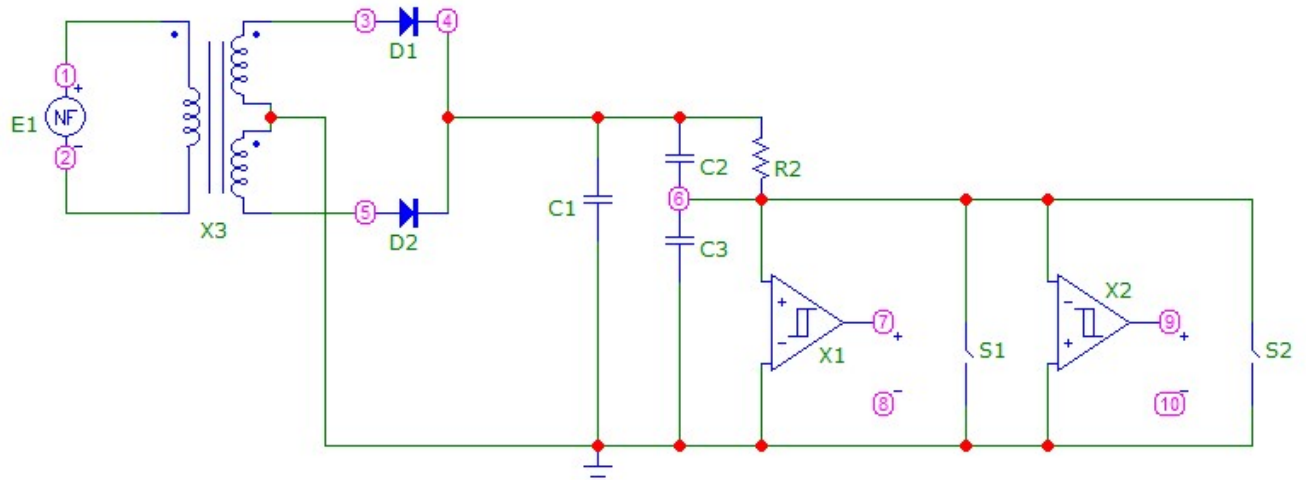


Рис. 3.4.3. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у дівопівперіодному випрямлячі з виведеною середньою точкою трансфоаматора в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

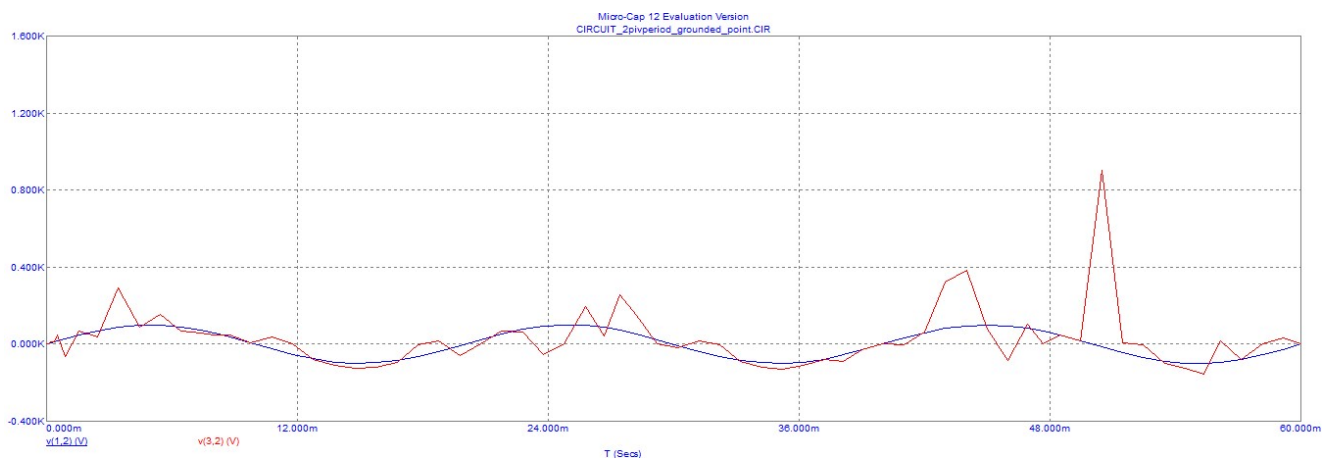


Рис. 3.4.4. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у дівопівперіодному випрямлячі з виведеною середньою точкою трансфоаматора в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

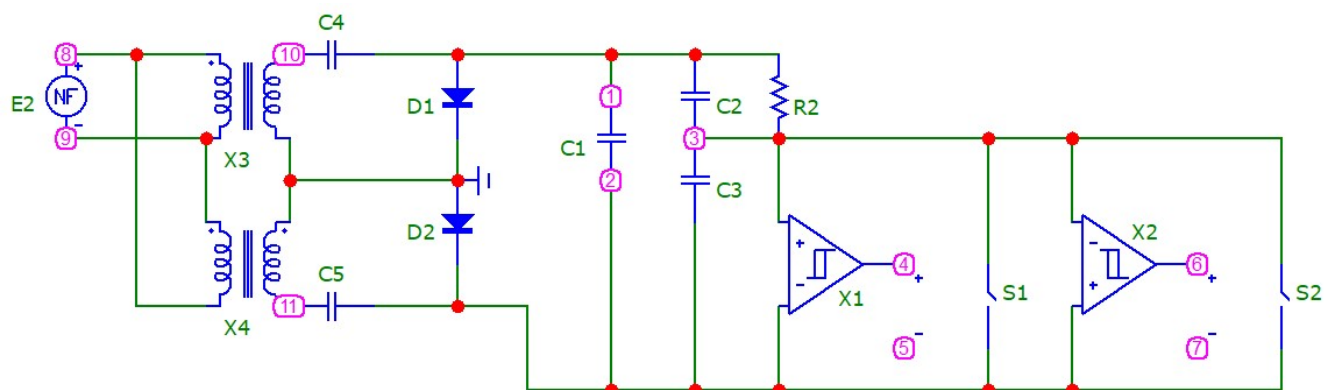


Рис. 3.4.5. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у послідовно з'єднаних двох схемах пульсуючої напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

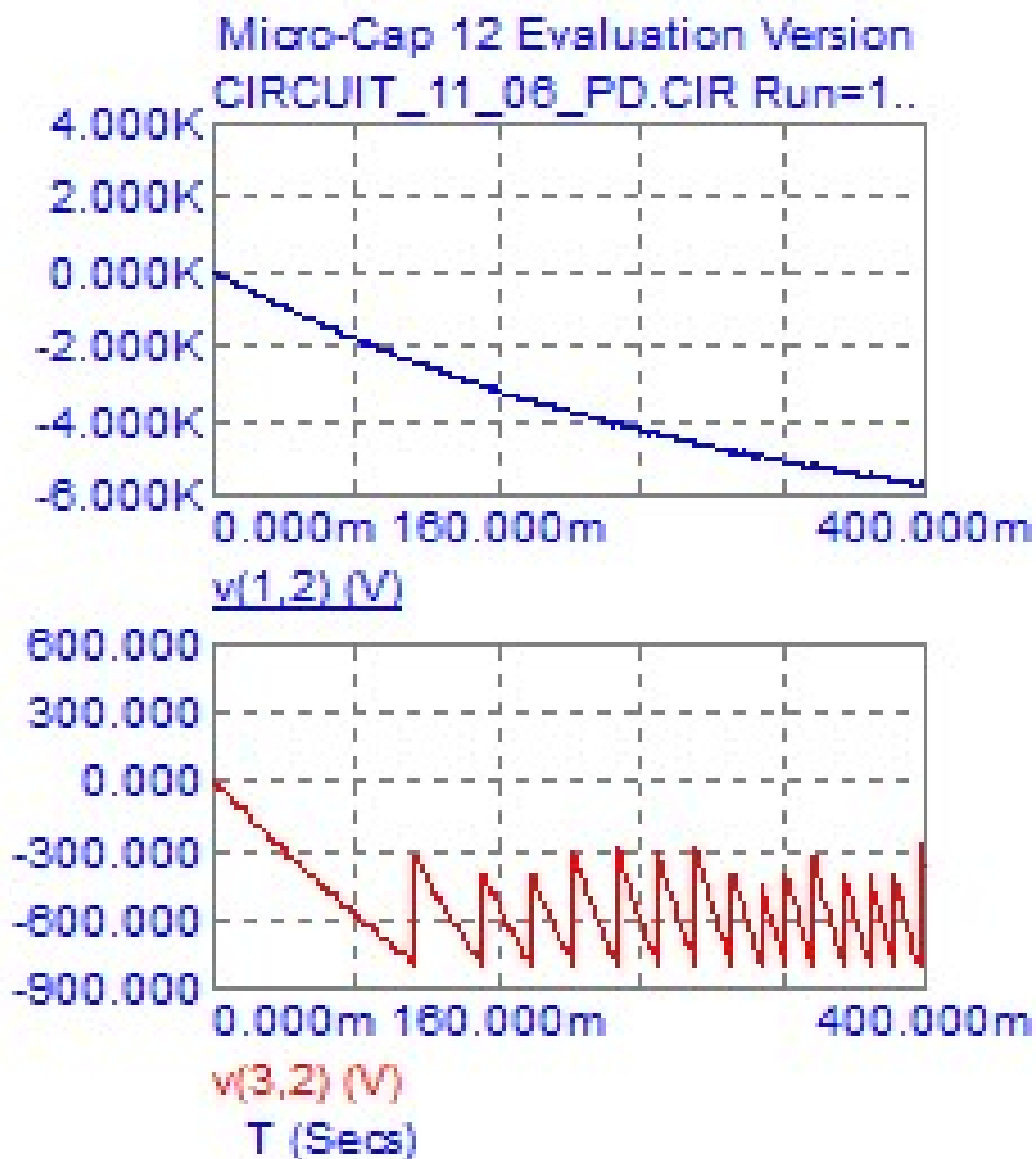


Рис. 3.4.6. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у послідовно з'єднаних двох схемах пульсуючої напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.5. Моделювання часткових розрядів в схемі подвоєння напруги.

Змоделюємо схеми для дослідження часткових розрядів у схемах подвоєння напруги використовуючи аналогічні змодельованим у попередньому розділі.

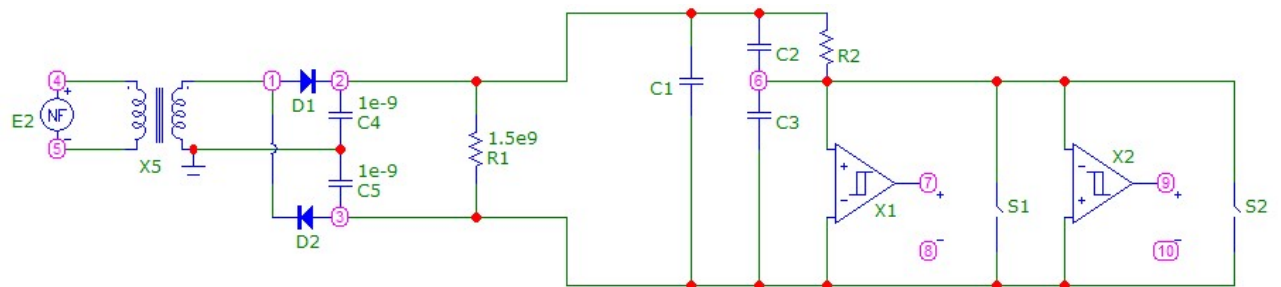


Рис. 3.5.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у подвоювачі напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

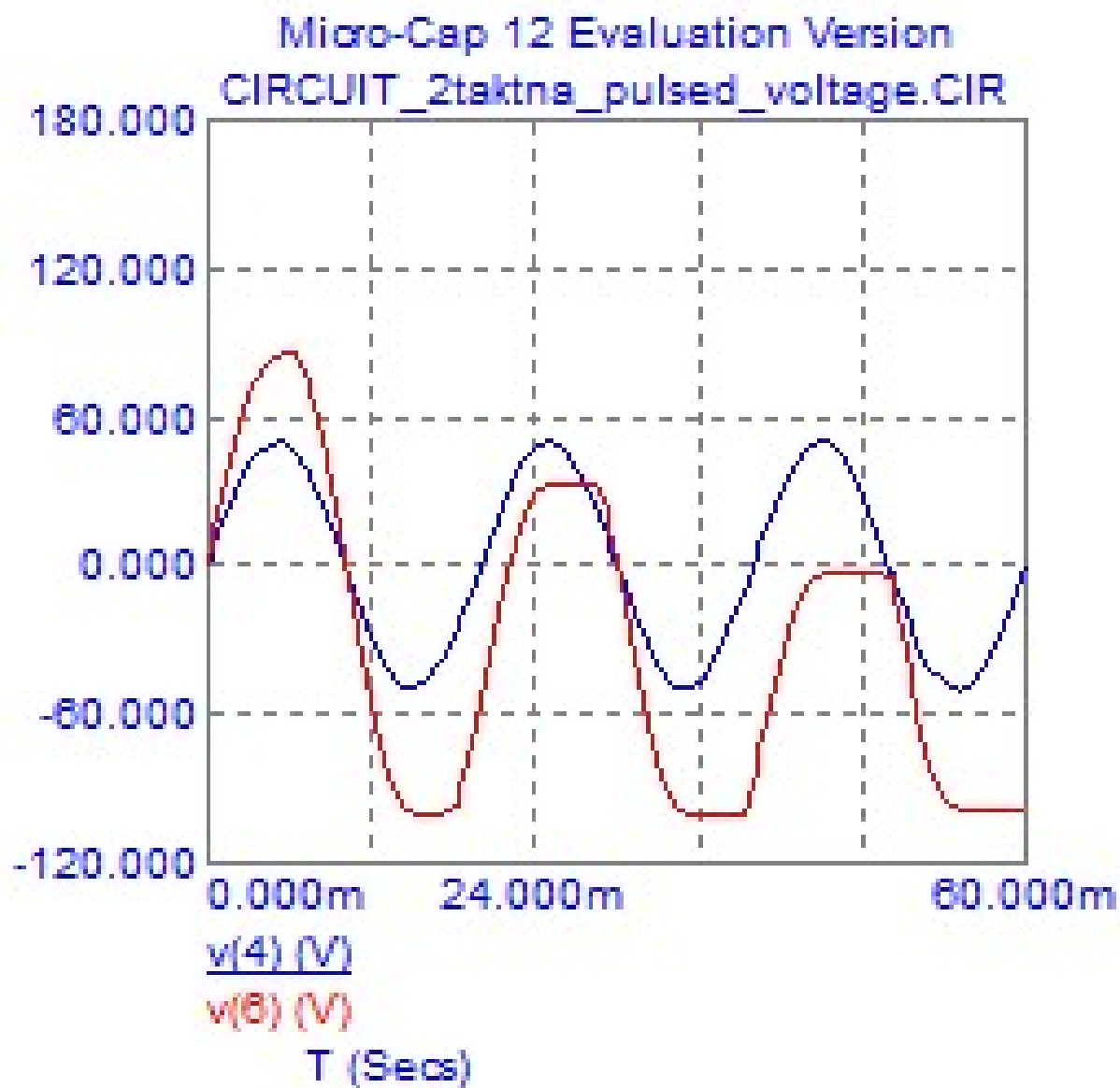


Рис. 3.5.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у подвоювачі напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

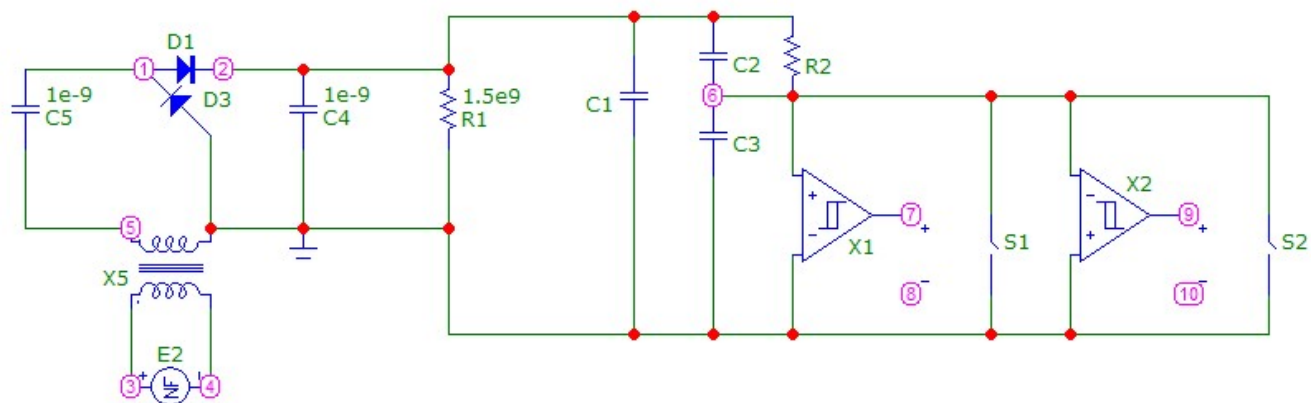


Рис. 3.5.3. Змодельована схема Грейнахера—Латура для дослідження часткових розрядів в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

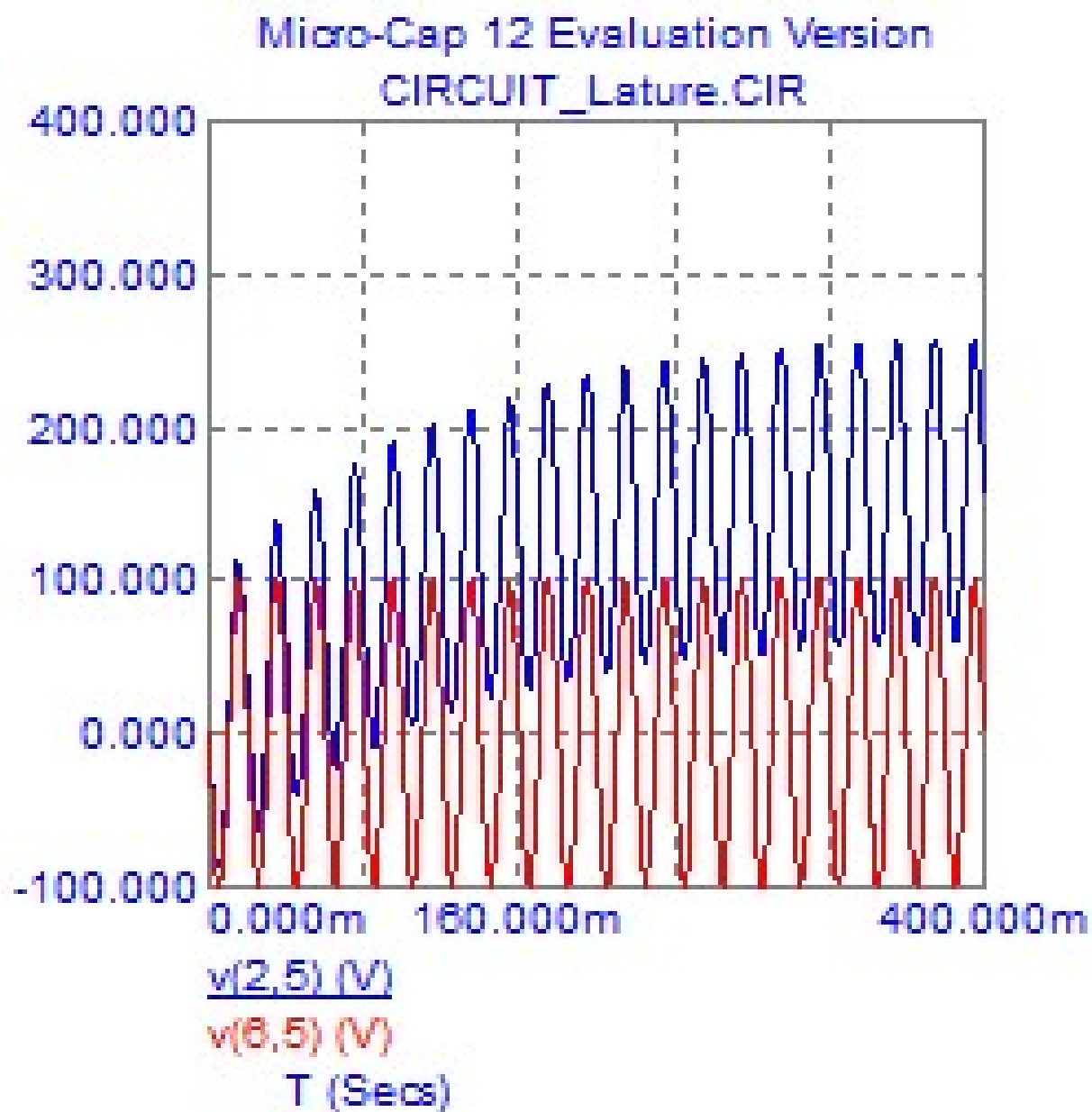


Рис. 3.5.4. Отримані осцилограми схеми Грейнахера—Латура для дослідження часткових в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.6. Моделювання часткових розрядів в схемі потрєння напруги.

Змодельуємо схеми для дослідження часткових розрядів у схемах потрєння напруги використовуючи аналогічні змодельованим у попередньому розділі.

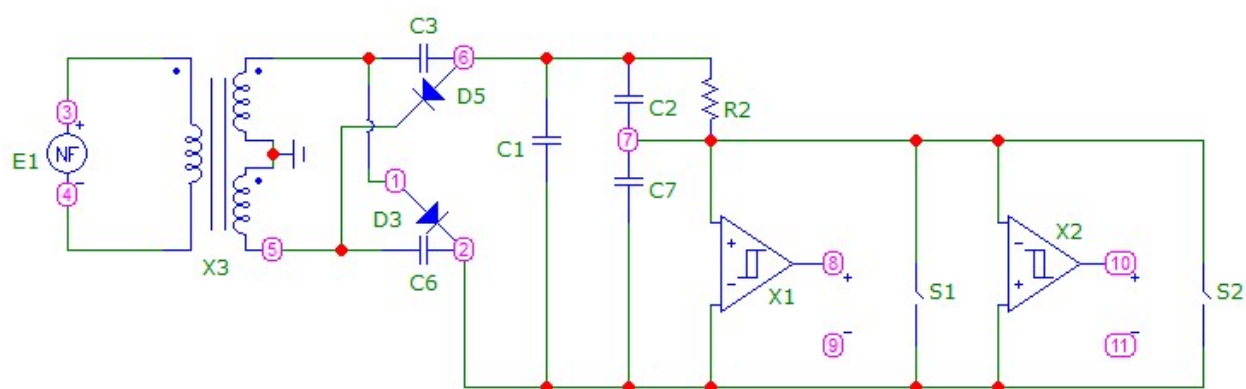


Рис. 3.6.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у потрєувачі напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

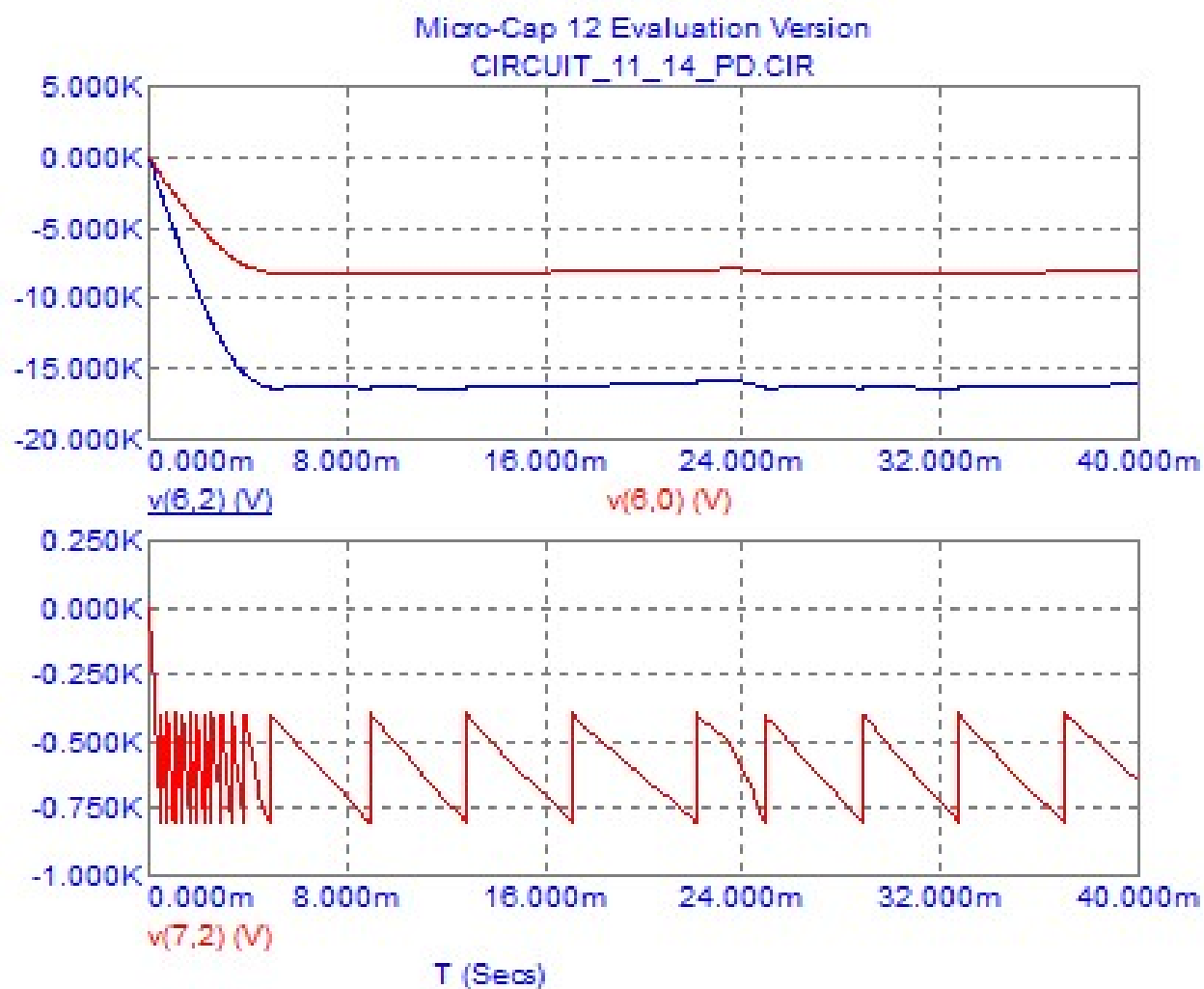


Рис. 3.6.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у потроювачі напруги в середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.7. Моделювання часткових розрядів в двох послідовно з'єднаних схемах потроєння напруги.

Змоделюємо схему для дослідження часткових розрядів у двох послідовно з'єднаних схемах потроєння напруги використовуючи аналогічні змодельованим у попередньому розділі.

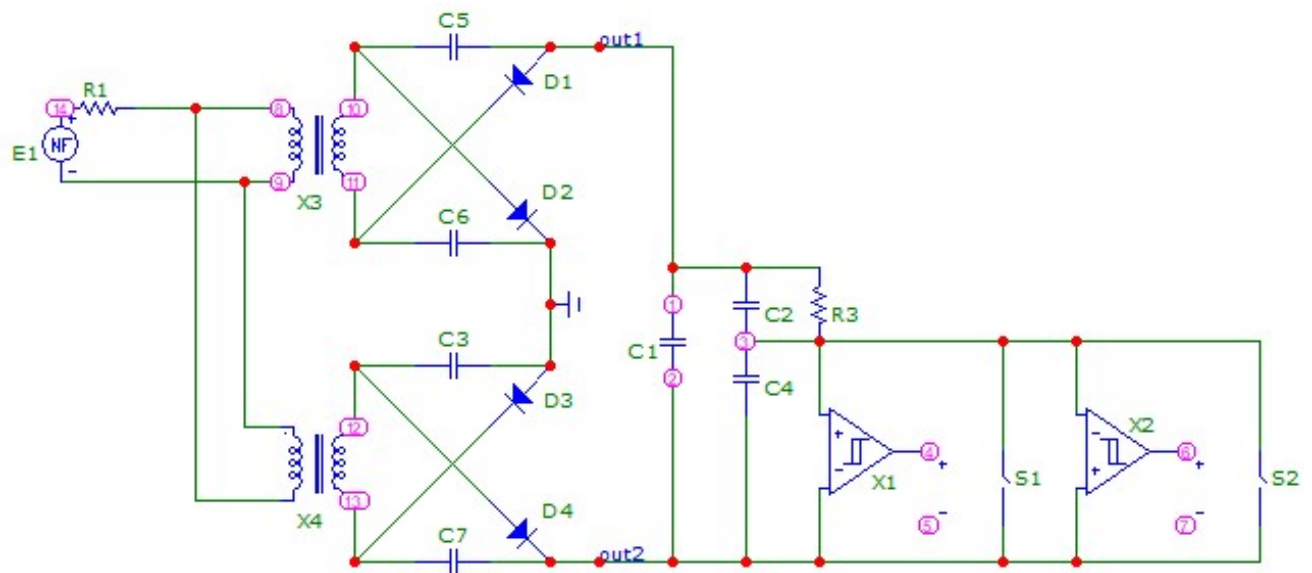


Рис. 3.7.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у двох послідовно з'єднаних схемах потроєння напруги у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

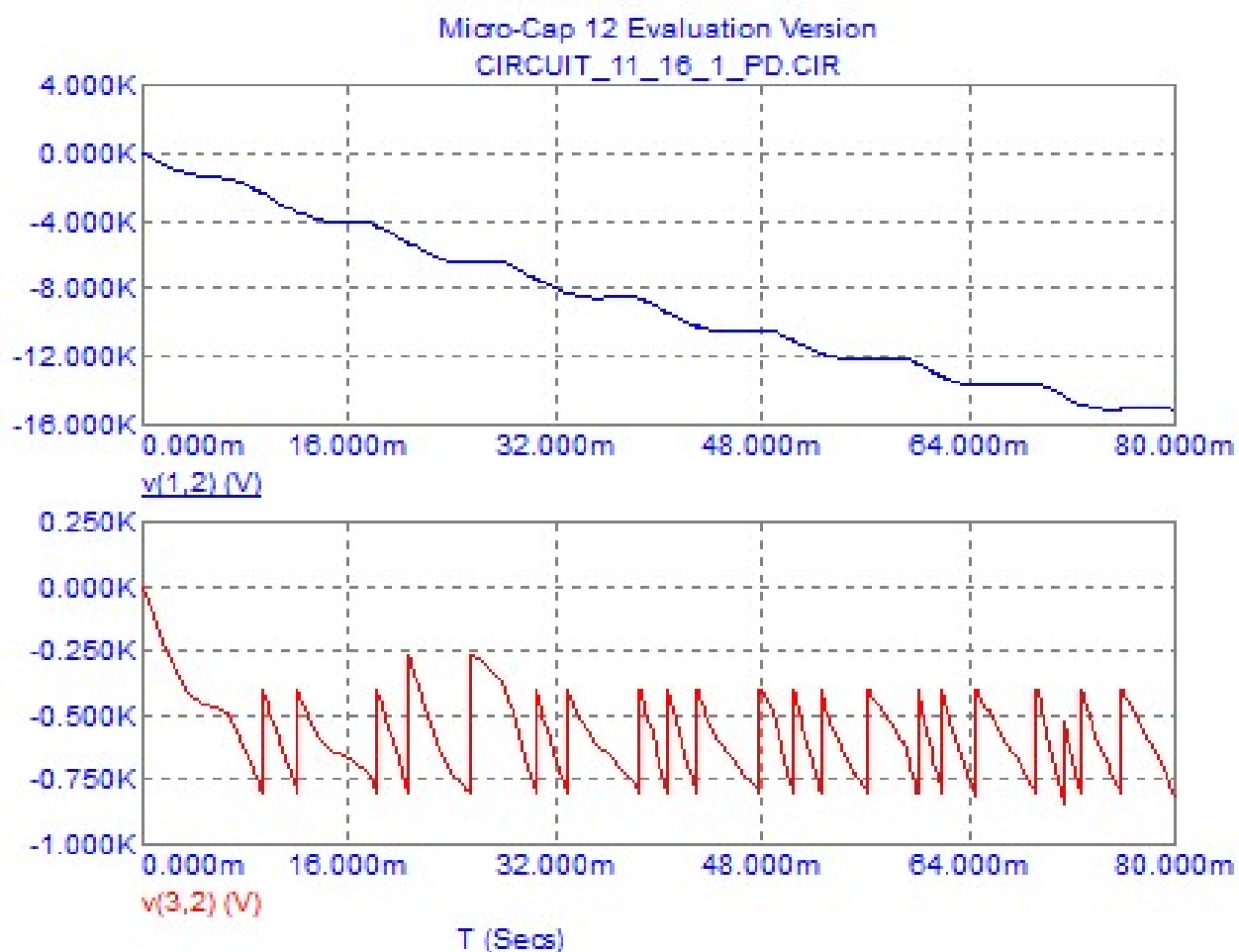


Рис. 3.7.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у двох послідовно з'єднаних схемах потроєння напруги у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.8. Моделювання часткових розрядів в каскадних схемах випрямних пристроїв.

Змоделюємо схему для дослідження часткових розрядів у схемі Грайнахера використовуючи аналогічні змодельованим у попередньому розділі.

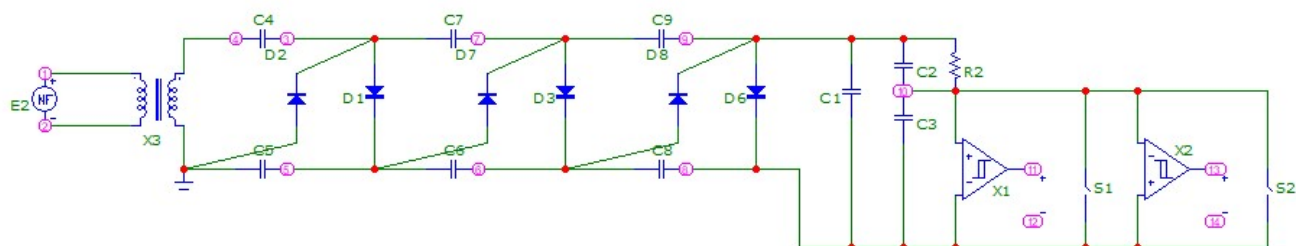


Рис. 3.8.1. Змодельована схема для дослідження часткових розрядів у схемі Грайнахера у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

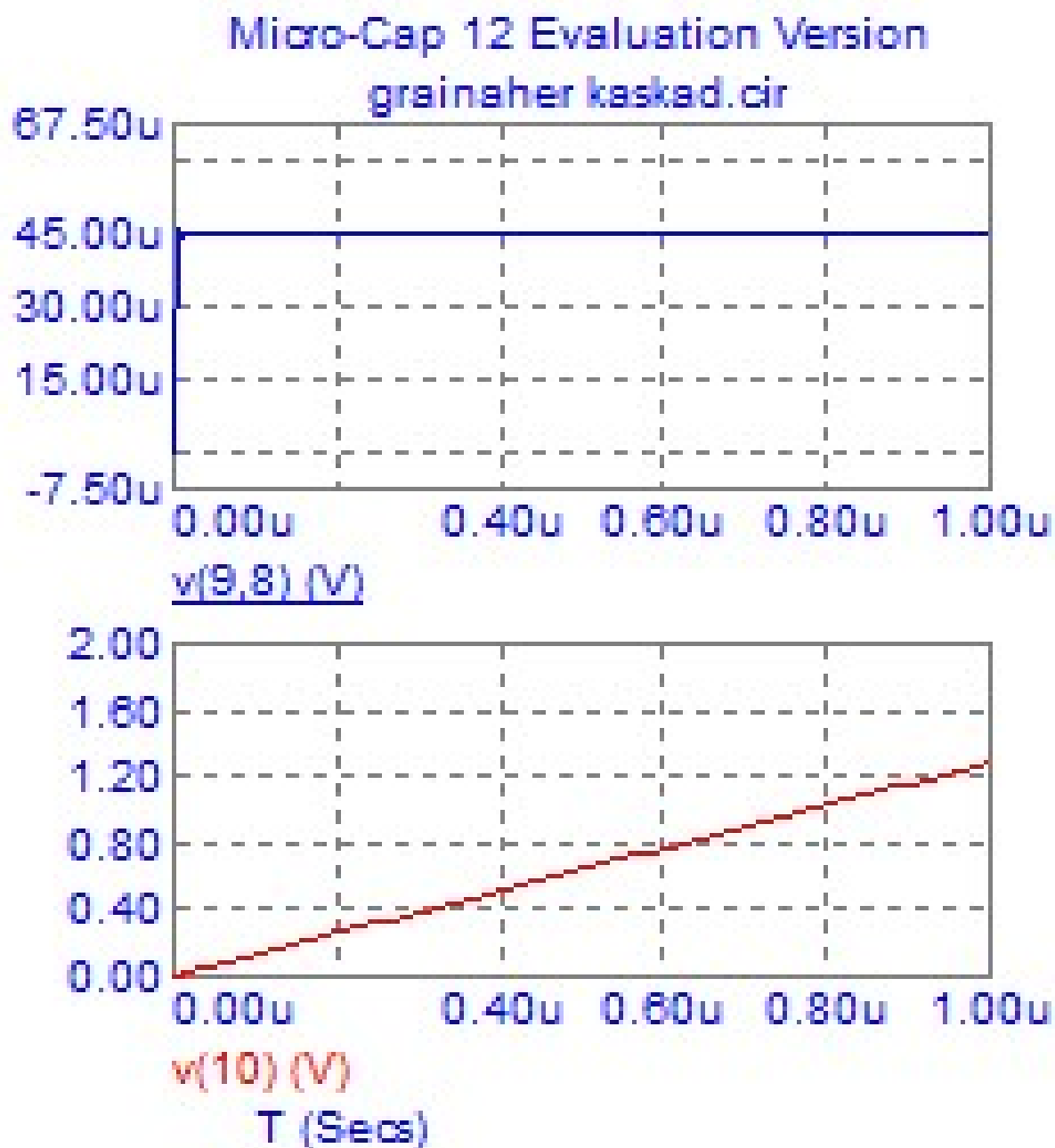


Рис. 3.7.2. Отримані осцилограми схеми для дослідження часткових розрядів у схемі Грайнахера у середовищі «Micro-Cap 12 Evaluation Version».

3.9. Висновки по розділу 3

В даному розділі мною було проведено дослідження всіх схем помноження та випрямлення напруги на наявність в них часткових розрядів. Для даного дослідження було використано елементи схеми розроблені на кафедрі ТЕВН раніше.

Провівши дане дослідження було виявлено, що лише в трьох з досліджених мною схемах було зафіксовано часткові розряди. Це схеми послідовно з'єднаних двох схем пульсуючої напруги, двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги а також у схемі потроєння напруги. У всіх інших схемах наявність часткових розрядів не фіксується. Дані результати дають можливість зробити висновок, що три схеми в котрих було зафіксовано часткові розряди являються менш стабільними в роботі і піддаються значно більшому зношенню ізоляції, а отже як результат менш довговічніші і потребують періодичної перевірки на наявність часткових розрядів а також на поточних контроль під час їхньої експлуатації, і своєчасний їх ремонт або заміну. Всі інші схеми являються більш довговічними і мають більший запас міцності ізоляції, а отже вони можуть бути використані для подальшого їх дослідження та удосконалення, і саме тому на їх основі будуються сучасні каскадні схеми множення та випрямлення напруги.

4. СТАРТАП: КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ ТЕМИ МАГІСТЕРЬСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ «МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМ ВИПРЯМЛЕННЯ ТА МНОЖЕННЯ НАПРУГИ» МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ

4.1. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Практично застосовуються мультиплікатори напруги в телевізійній сфері, лазерних технологіях, рентгенівських системах, лампах для бігучої строки, фотопомножувальних трубках, іонних насосах, в підсвітці рідкокристалічних дисплеїв, іонізаторах повітря, осцилографах, електростатичних системах, копіювальних машинах та багатьох інших пристроях, які використовують високу напругу постійного струму. Найбільш розвинутим, досконалим і найбільш застосованим типом даних пристроїв є каскадні схеми випрямлення. Висвітливо в таблиці 4.1 потенційні ринки збуту готової продукції. Основна ідея буде полягати в покращенні певних характеристик схеми шляхом заміни застарілих моделей діодів на новітні, більш компактні та ефективніші.

Таблиця 4.1.1. Потенційні ринки

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|--|--|--|
| Виробництво покращених каскадних схем помноження напруги | 1. Підсвітка рідкокристалічних дисплеїв | Покращення енергоефективності дисплеїв |
| | 2. Застосування в осцилографах, приладах рентгенографії та інших високовольтних складних електронних пристроях | Використання даних схем в осцилографах дозволяє покращити характеристики готових пристроїв (зокрема точність вимірювань та енергоефективність) |

Надалі представлені варіанти використання ідеї, що пропонується, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару за кожним напрямком застосування, відмінності від існуючих аналогів та замінників, конкурентоспроможність та що потрібно для введення цієї ідеї. Після аналізу всіх цих аспектів можна з великою точністю сказати про доцільність і ефективність вводу цієї ідеї як об'єкта для стартапу.

За приведеним переліком слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна стверджувати про конкурентоспроможність покращеного помножувача напруги.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу буде проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Таблиця 4.2.1

Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № n/n | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|--|---|--|-------------------------|---|
| | Виробництво покращених каскадних схем помноження напруги. | Заміна застарілих діодів на нові діоди типу STPS140A | Діоди наявні в продажу. | Вказані діоди доступні для закупки оптом. |
| <u>Обрана технологія реалізації ідеї проекту:</u> Заміна застарілих діодів на нові діоди типу STPS140A . | | | | |

Зважаючи на проведений аналіз сучасного ринку можна стверджувати, що даний технологічний проект можливо реалізувати шляхом перепаювання вже існуючих схем в промисловому масштабі. На даний момент у мене є можливість закуповувати діоди типу STPS140A

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Під час виконання даного розділу буде визначено ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.3.1).

Таблиця 4.3.1

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|---|--|----------------------------------|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 10 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 14000 |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | немає |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Відповідність ДСТУ та нормам ПУЕ |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | 65% |

За попередньою оцінкою даний ринок є досить рентабельним для входу в нього або інвестування.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.3.2).

Таблиця 4.3.2

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| <i>№</i> | <i>Потреба, що формує ринок</i> | <i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i> | <i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i> | <i>Вимоги споживачів до товару</i> |
|----------|---|--|---|---|
| | Наявність якісних стандартизованих схем множення напруги котрі відповідають сучасному і майбутньому ринкам електроніки та електротехніки. | Виробники промислової та побутової електроніки та електротехніки. (масовий ринок) | Відповідність всім наявним ДСТУ в галузі електроніки і електротехніки а також нормам ПУЕ, надійність та актуальність для кожного окремо взятого типу електротехнічного або електронного пристрою. | - до продукції: Відповідність всім наявним ДСТУ в галузі електроніки і електротехніки а також нормам ПУЕ, надійність та актуальність -до компанії-постачальника: Чесність, порядність, професіоналізм, легальність робіт, широта асортименту, гнучкий підхід до потенційного клієнта, ціна, якість, швидкість виконання та (або) доставки. |

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. №№ 4.3.2-4.3.3). Фактори в таблицях будуть подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.3.3

Фактори загроз

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст загрози</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|--------------------------|--|---|
| 1 | Інфляція за 2018 рік 12% | Ріст цін на ринку що може відштовхнути від компанії споживачів | Пошук шляхів мінімізації собівартості сировини для виробництва а також вартості продукції |
| 2 | Поява нових конкурентів | Збільшення числа конкурентів на ринку | Забезпечення стабільних переваг над конкурентами |

Таблиця 4.3.4

Фактори можливостей

| <i>№ n/n</i> | <i>Фактор</i> | <i>Зміст можливості</i> | <i>Можлива реакція компанії</i> |
|------------------|--|---|---|
| 1 | Поява нового потенційного постачальника сировини | Зміна постачальника | Підписання договору про поставку сировини на виробництво на більш привабливих умовах |
| 2 | Підвищення доходу споживачів | Покращення фінансових можливостей компаній споживачів | Продовження поточних контрактів, підписання нових що дасть змогу збільшити об'єми випробництва продукції і збільшити дохід компанії |

Визначимо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.3.5).

Таблиця 4.3.5

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| <i>Особливості конкурентного середовища</i> | <i>В чому проявляється дана характеристика</i> | <i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i> |
|---|--|---|
| 1. Вказати тип конкуренції - Олігополія | Домінує невелика кількість конкуруючих компаній | Виробництво якісної продукції за ринковими цінами з якомога кращими умовами сервісу |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби - інтернаціональний | Виробники даної продукції зареєстровані в низці різних країн світу | Можливість збуту продукції не лише на території України але і по всьому світу, за умови належної якості продукції компанії |
| 3. За галузевою ознакою - міжгалузева | Даний пристрій застосовується майже в усіх сферах діяльності людства | Широкий ринок збуту дає можливість для реалізації продукції усім конкурентоспроможним компаніям |
| 4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова | Дані схеми випускають близько десятка відомих компаній по всьому світу | Дає можливість обійняти певний сегмент ринку на певній території за умови належного конкурентоспроможного балансу ціна/якість |
| 5. За характером конкурентних переваг - нецінова | Перевагою являються покращені фізичні властивості пристрою | Дає змогу формувати довільну цінову політику для нового товару на ринку і постачати оновлений, а тому |

| | | затребуваний продукт |
|----------------------------------|--|---|
| 6. За інтенсивністю - марочна | Виробники конкуренти штампують логотипи на своїх пристроях для підвищення конкурентоздатності підприємств | Дана особливість вимагає від компанії розробити власний логотип і витратити певні фінансові ресурси на маркування власної продукції для підвищення конкурентоздатності підприємства |

Далі проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 4.3.6).

Таблиця 4.3.6

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

| <i>Складові аналізу</i> | <i>Прямі конкуренти в галузі</i> | <i>Потенційні конкуренти</i> | <i>Постачальники</i> | <i>Клієнти</i> | <i>Товари-замінники</i> |
|-------------------------|---|---|---|---|---|
| | STMicroelectronics ST Micro QTY | Розмір капіталовкладень; Доступ до ресурсів; Доступ до каналів розподілу; | Значення розміру поставок для постачальників; Диференціація витрат; | Розмір закупівель; ; Рівень чутливості до зміни цін; Контроль якості; | Лояльність споживачів Ціна; |
| <u>Висновки:</u> | Конкуренція між основними гравцями на ринку є, але попит на продукцію дає змогу всім реалізувати свою продукцію | Можливість виходу на ринок є; Потенційні конкуренти наявні і на даний час працюють над схожими технічними рішеннями; | Постачальники диктують розміри і обсяги виробництва та цінову політику на ринку | Клієнти ви являють зацікавленість в отриманні великих партій конкретних типів товару за прийнятними цінами. | Загроза появи взаємозамінних товарів існує, але їх поява влиці відоміших компаній не забере весь ринок збуту продукції; |

За даними таблиці 4.3.6, можна зробити висновок, що вихід на ринок з реалізацією даної ідеї являється перспективним, можливим і потенційно прибутковим. Конкуренція на ринку можлива і майже 100% вірогідна але навіть всі найвідоміші компанії виробники подібного обладнання не покривають весь обширний ринок збуту продукції.

На основі аналізу конкуренції, проведеного вище, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 4.4.7

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| <i>№</i> | <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i> |
|----------|--------------------------------------|--|
| 1 | Якість | Якісно виготовлений товар котрий матиме гарантію та буде відповідати всім чинним нормам ДСТУ та ПУЕ, а також більшості закордонних норм сертифікації даної продукції |
| 2 | Обсяги виробництва | Спроможність виробника налагодити постійне виробництво продукту великими партіями для задоволення потреб споживачів |
| 3 | Швидкість виробництва | Спроможність виробника налагодити необхідну споживачам швидкість виробництва продукції |

| <i>№</i> | <i>Фактор конкурентоспроможності</i> | <i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i> |
|----------|--------------------------------------|--|
| 4 | Логістика | Добре налагоджена логістична система для економії часу та фінансової складової компанії та клієнтів |
| 5 | Кваліфікований персонал | У всіх сферах діяльності компанії має бути задіяний відповідний кваліфікований персонал для ведення посильної конкурентної діяльності компанії |
| 6 | Цінова політика | Можливість компанії ефективно розпоряджатися фінансовими можливостями для забезпечення нормального функціонування компанії і прийнятної конкурентної ціни на продукцію а також для забезпечення стабільного прибутку |
| 7 | Маркетинг | Компанія має про себе заявити потенційному клієнту. Кожна конкурентоспроможна компанія має виділяти кошти на якісну рекламу що повинна охоплювати цільову аудиторію даного виду продукту а також повинна активно конкурувати з рекламою конкурентів. |
| 8 | Новизна | Наскільки даний продукт компанії новий і актуальний на ринку |

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін проекту.

Таблиця 4.4.8

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

| № | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів конкурента «ST Micro» у порівнянні з запропонованим в проекті | | | | | | |
|---|----------------------------------|-----------|---|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Якість | 18 | | | X | | | | |
| 2 | Обсяги виробництва | 15 | | | | | | | X |
| 3 | Швидкість виробництва | 14 | | | | | | | X |
| 4 | Відповідність ДСТУ та нормам ПУЕ | 16 | | X | | | | | |
| 5 | Кваліфікований персонал | 19 | | | | X | | | |
| 6 | Цінова політика | 18 | | | | | X | | |
| 7 | Маркетинг | 7 | | | | X | | | |
| 8 | Новизна | 19 | X | | | | | | |

При аналізі результатів вище приведенного порівняння можна зробити висновок про те, що на початковий момент розвитку компанії і виробництва продукту за даною ідеєю стартап проекту, основною перевагою являється виняткова новизна продукту та його якість. За деякий час (4-6 календарних місяця) передбачається вирівнювання більшості факторів даної таблиці ближче до 0. Це буде обумовлено появою аналогічних або кращих пристроїв на ринку, так як даний ринок стрімко і невпинно розвивається. Але разом з

тим за цей же час компанією буде покращено такі фактори конкуренції як «Логістика», «Швидкість виробництва», «Цінова політика» та «Обсяги виробництва» в зв'язку з вдосконаленням матеріальної бази компанії, отримання працівниками необхідного досвіду, появою первинної клієнтської бази, збільшенням обсягів виробництва шляхом нарощування потужностей, пошуком більш надійних поставників сировини або закупівлі останньої у поточного постачальника на більш вигідних умовах, вдосконалення технології виробництва і т.д.

Проведемо SWOT- аналіз стартап-проекту.

Таблиця 4.4.9

SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|---|---|
| <u>Сильні сторони:</u> Новизна продукту; Якість продукту; Відповідність ДСТУ та нормам ПУЕ; Можливість швидкого виробництва | <u>Слабкі сторони:</u> Низький вхідний капітал; Невідома нікому компанія; Обсяги та швидкість виробництва; |
| <u>Можливості:</u> Вивід нової продукції на ринок для закріплення на ньому; | <u>Загрози:</u> Можливий перехід частини потенційних споживачів до конкурентів з часом; |

На основі Таблиці 4.4.9 та Таблиці 4.4.8 можна сформулювати альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 4.4.10

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| <i>№</i> | <i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i> | <i>Ймовірність отримання ресурсів</i> | <i>Строки реалізації</i> |
|----------|---|--|---------------------------------------|
| 1 | Швидке налагодження поставок сировини; Розгортання значних потужностей виробництва; Робити акцент на якості продукції; | отримання ресурсів є більш простим та ймовірним; | |
| 2 | Проведення широкомасштабної рекламної кампанії; Пошук постійних джерел збуту продукції; Швидке виробництво малими партіями за малих | | строки реалізації – є більш стислими. |

| | | | |
|--|--------------|--|--|
| | потужностей; | | |
|--|--------------|--|--|

4.5.Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.5.1

Вибір цільових груп потенційних споживачів

| <i>№ п/п</i> | <i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i> | <i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i> | <i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i> | <i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i> | <i>Простота входу у сегмент</i> |
|---|---|--|--|---|---|
| 1 | Виробництво р.к. моніторів | готові | високий | висока | легко |
| 2 | Виробництво рентгенівських систем | готові | високий | висока | складно |
| 3 | Виробництво осцилографів | готові | високий | висока | складно |
| <p><u>Які цільови групи обрано:</u> обрано цільову групу виробників високовольтної високоточної електроніки а також виробників систем підсвітки рідкокристалічних дисплеїв.</p> | | | | | |

Зважаючи на обраний обсяг цільових груп для потенційного збуту продукції мною буде обрано масову стратегію охоплення ринку.

Сформуємо базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.5.2

Визначення базової стратегії розвитку

| <i>№ п/ п</i> | <i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i> | <i>Стратегія охоплення ринку</i> | <i>Ключові конкурентоспро- можні позиції відповідно до обраної альтернативи</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> |
|-----------------------|---|---|--|--|
| | <p>Проведення широкомасштабної рекламної кампанії;</p> <p>Пошук постійних джерел збуту продукції;</p> <p>Швидке виробництво малими партіями за малих потужностей;</p> | <p>Захоплення переваги на ринку України та країн СНД з потенціалом на вихід на ринки дальнього закордоння</p> | <p>Можливість швидкого виробництва;</p> <p>Новизна продукту;</p> <p>Якість продукту;</p> <p>Відповідність ДСТУ та нормам ПУЕ;</p> <p>;</p> | <p>Концентрація з диференціацією</p> |

Таблиця 4.5.3

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| <i>№ п/п</i> | <i>Чи є проект «першопроходцем» на ринку?</i> | <i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i> | <i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i> | <i>Стратегія конкурентної поведінки</i> |
|------------------|---|---|---|---|
| | Ні | Так | Частково. Буде використано вже існуючу схему Грайнахера, котра використовується не один рік, і буде вдосконалено шляхом заміни застарілих типів діодів на новітні | Стратегія наслідування лідеру |

Таблиця 4.5.4

Визначення стратегії позиціонування

| <i>№ п/п</i> | <i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i> | <i>Базова стратегія розвитку</i> | <i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i> | <i>Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i> |
|------------------|--|--|---|--|
| | Якість, відповідність ДСТУ та нормам ПУЕ, ціна, новизна, ефективність. | Стратегія спеціалізації | Якість; Новизна; Стандартизованість. | Надійність; Точність вимірювань; Актуальність; |

4.6.Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформулюємо маркетингову концепцію товару.

Таблиця 4.6.1

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| <i>№ n/n</i> | <i>Потреба</i> | <i>Вигода, яку пропонує товар</i> | <i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити</i> |
|------------------|--|---|--|
| | Висока точність вимірювань; Енергоефективність; Стабільність роботи; | Дає можливість споживачу забезпечити всі необхідні потреби | Новизна; Якість; |

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару: уточнемо ідею продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання.

Таблиця 4.6.2

Опис трьох рівнів моделі товару

| Рівні товару | Сутність та складові | | |
|--|--|------|----------------|
| I. схема високовольтного помножувача напруги | Забезпечення оптимального ефективного живлення пристроїв в котрі монтується а також точність їх вимірювання. | | |
| II. Високовольтний помножувач напруги | Властивості/характеристики | М/Нм | Вр/Тх /Тл/Е/Ор |
| | 1.підвищення вхідної напруги | М | Тл |
| | 2.вирівнювання вхідної напруги | М | Тл |
| | Якість: згідно норм ДСТУ та ПУЕ | | |
| | Пакування: контейнер для мікросхем з фіксаторами | | |
| | Марка: Високовольтний помножувач напруги | | |
| III. Високовольтний помножувач напруги | До продажу: Високовольтний помножувач напруги | | |
| | Після продажу: Елемент складної схеми приладу. | | |
| За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: міжнародний патент на корисну модель. | | | |

Визначимо можливі цінові рамки, визначимо напрями рекламної діяльності та сформуємо систему збуту.

Таблиця 4.6.3

Визначення меж встановлення ціни

| <i>№ п/п</i> | <i>Рівень цін на товари- замінники</i> | <i>Рівень цін на товари- аналоги</i> | <i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i> | <i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i> |
|------------------|--|--|---|--|
| | 13000грн/шт. | 15000грн/шт. | Високий- надвисокий | 15000- 16000грн/шт. |

Таблиця 4.6.4

Формування системи збуту

| <i>№ п/п</i> | <i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i> | <i>Глибина каналу збуту</i> | <i>Оптимальна система збуту</i> |
|------------------|--|--|-----------------------------------|---|
| | Оптова, роздрібна та великі довгострокові замовлення | Доставка продукції за адресою, доставка через існуючі кур'єрські компанії або забезпечення самовивозу | Канал збуту нульового рівня | Власна або залучена |

Таблиця 4.6.5

Концепція маркетингових комунікацій

| <i>№ п / п</i> | <i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i> | <i>Канали комунікацій, якими користуютьс я цільові клієнти</i> | <i>Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня</i> | <i>Завдання рекламного повідомлення</i> | <i>Концепція рекламного звернення</i> |
|----------------------------|--|--|--|--|--|
| | Клієнти обізнані в специфіці обладнання що закупають тому можуть перевіряти якість виробництва продукції | Мобільний зв'язок, Telegram, Viber, Facebook, Skype, Whats App, LinkedIn, email. | Новизна, точність вимірювання, стабільність роботи | Зацікавити потенційного клієнта, щоб він хоча б звернувся за будь яким каналом зв'язку з компанією для отримання будь якої цікавої йому інформації стосовно продукції. | Акцентуван ня уваги на тимчасову виключну новизну продукту, новизну компанії а тому турботу про якість продукції та на виключно гнучкий підхід до кожного клієнта. |

Рекламну кампанію потрібно проводити виключно в середовищі мережі інтернет, так як потенційні клієнти являються сучасними прогресивними компаніями котрі створюють сучасні прогресивні пристрої, а тому не мають

часу шукати потенційних постачальників комплектуючих на засобах зовнішньої реклами, телебаченні тощо. Головним джерелом реклами повинні стати соціальні мережі, електротехнічні форуми та інтернет магазини.

4.7.Висновки

Провівши всі необхідні дослідження можна стверджувати, що ринкова комерціалізація проекту являється рентабельною з поправкою на необхідність подальшого вдосконалення пристрою в найближчому майбутньому та розробка нових схем щоб встигати за розвитком тенденцій ринку електротехніки та електроніки. Початкова ціна буде вищою за конкурентів, але вона являється виправданою з огляду на новизну пристрою. Потенційними покупцями являються як великі компанії що виготовляють складну електроніку серійно і потребують постійних великих партій поставок пристрою, так і одиничні клієнти котрим даний пристрій потрібен буде в одному екземплярі одноразово. Головною перевагою на ринку України є практично повна відсутність національної конкуренції але з виходом на міжнародний ринок можуть виникнути певні труднощі через достатньо велику кількість вже добре зарекомендованих компаній, але загалом обсяг потенційних споживачів настільки великий, що кожен з конкурентів знайде свій ринок збуту. Головним джерелом реклами повинні стати соціальні мережі, електротехнічні форуми та інтернет магазини, так як даний сегмент електроніки не рекламується іншими засобами.

Висновки по роботі

В даній роботі мною було змодельовано схеми подвоєння, потроєння, множення та випрямлення напруги в середовищі Micro-Cap 12 Evaluation. З цими моделями було проведено ряд експериментів спрямованих на дослідження параметрів напруги в різних точках схеми (як правило на вході та на виході схеми) але іноді і в інших вузлах схеми, як наприклад в каскадній схемі Грейнахера. Дослідження проведені мною доводять працездатність даних схем з сучасними комплектуючими. В схемах подвоєння напруги графіки напруги показують стабільне подвоєння напруги аналогічно зі схемами потроєння. Що стосується каскадних схем множення, то порівняльні схеми показують багатократне множення вихідної напруги, що дає змогу стверджувати що зі збільшенням кількості каскадів напруга буде зростати і таким чином її можливо регулювати. Також зміна ємностей в конденсаторах змінює коефіцієнт трансформації що також впливає на ступінь множення напруги.

Також мною було проведено дослідження всіх схем помноження та випрямлення напруги на наявність в них часткових розрядів. Для даного дослідження було використано елементи схеми розроблені на кафедрі ТЕВН раніше.

Провівши дане дослідження було виявлено, що лише в трьох з досліджених мною схемах було зафіксовано часткові розряди. Це схеми послідовно з'єднаних двох схем пульсуючої напруги, двох послідовно з'єднаних схем потроєння напруги а також у схемі потроєння напруги. У всіх інших схемах наявність часткових розрядів не фіксується. Дані результати дають можливість зробити висновок, що три схеми в котрих було зафіксовано часткові розряди являються менш стабільними в роботі і піддаються значно більшому зношенню ізоляції, а отже як результат менш довговічніші і потребують періодичної перевірки на наявність часткових розрядів а також на поточний контроль під час їхньої експлуатації, і своєчасний їх ремонт або

заміну. Всі інші схеми являються більш довговічними і мають більший запас міцності ізоляції, а отже вони можуть бути використані для подальшого їх дослідження та удосконалення, і саме тому на їх основі будуються сучасні каскадні схеми множення та випрямлення напруги.

Всі проведені мною дослідження дають змогу більш поглиблено вивчити фізичні процеси в схемах множення та випрямлення напруги що в свою чергу дасть змогу в майбутньому вдосконалити сучасні схеми для забезпечення поточних потреб галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Simulation of partial discharges under influence of impulse voltage // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 1, No. 1 (39). P. 36–41.
2. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Effect of voltage harmonics on pulse repetition rate of partial discharges // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 2, No. 1 (40). P. 37–44.
3. Trotsenko Ye., Brzhezitsky V., Protsenko O., Chumack V., Haran Ya. Experimental study and modeling of partial discharge detection system // Technology audit and production reserves. 2018. Vol. 4, No. 1 (42). P. 17–22.
4. Бржезицький В. О., Ісакова А. В. Техніка і електрофізика високих напруг (2005) - стор. 514-564.
5. Impact of high voltage harmonics on interpretation of partial discharge patterns / Florkowski M. et al. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2013. Vol. 20, No. 6. P. 2009–2016. doi:10.1109/tdei.2013.6678848
6. Development of partial discharge model, simulation and measurement / Kolev N. P. et. al. // 1999 Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena. Austin, 1999. P. 214–217. doi: <http://doi.org/10.1109/ceidp.1999.804629>
7. Micro-Cap 11. Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual. Sunnyvale: Spectrum Software, 2014. 1040 p. URL: <http://www.spectrum-soft.com/down/rm11.pdf>
8. Gulski E. Digital analysis of partial discharges // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 1995. Vol. 2, Issue 5. P. 822–837. doi: <http://doi.org/10.1109/94.469977>
9. GOST 20074-83. Elektrooborudovaniye i elektroustanovki. Metod izmereniya kharakteristik chastichnykh razryadov. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1983. 22 p.
10. Do T., Lesaint O., Auge J.-L. Streamers and partial discharge mechanisms in silicone gel under impulse and AC voltages // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 2008. Vol. 15, No. 6. P. 1526–1534. doi:10.1109/tdei.2008.4712654

